

## ⑫特許公報(B2)

昭57-46166

⑤ Int.Cl.<sup>3</sup>  
H 01 B 5/08

識別記号

庁内整理番号  
6730-5E

②④公告 昭和57年(1982)10月1日

発明の数 1

(全16頁)

1

2

## ⑤送電線

②特 願 昭55-151105

②出 願 昭55(1980)10月27日

⑥公 開 昭57-90809

④昭57(1982)6月5日

⑦発 明 者 阪部貞夫

大阪市北区中之島3丁目3番22号  
関西電力株式会社内

⑦出 願 人 関西電力株式会社

大阪市北区中之島3丁目3番22号

⑦代 理 人 弁理士 深見久郎 外2名

## ⑥引用文献

特 開 昭48-64479(JP,A)

特 開 昭52-109180(JP,A)

特 開 昭56-71213(JP,A)

## ⑦特許請求の範囲

1 電線の最外層が断面から見てリング形状でありかつ外周表面の平滑な導体を放射状に分割して複数の分割導体にされ、該複数の分割導体を長手方向に撚り合わせた層からなり、

前記複数の分割導体の一定数毎の隣接する両分割導体の外側の角に曲率半径  $r$  (m) の円弧を形成することによつて、送電線の外周の長手方向に沿つて複数本の溝が形成され、

前記円弧の形成された分割導体は、両端に突合わせ代が形成されかつ円弧と突合わせ代との交点における該円弧の接線が電線の中心を通らないように選ばれ、

前記分割導体に形成された円弧が、当該円弧の曲率半径  $r$  (m) と同一半径で描かれる円周長さ

の  $\frac{7.5}{3.60}$  以上に選ばれたことを特徴とする送電線。

2 前記曲率半径  $r$  (m) は、風速  $V$  (m/sec) としかつ1つの隣りあう溝の中心に対する角度を  $\theta$  (度) としたとき、

$$r = \frac{0.0508}{V} \left( 10^{\frac{\theta - 28.5}{1.13}} \sim 10^{\frac{\theta + 5.2}{1.13}} \right)$$

5 なる関係に選ばれたことを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の送電線。

3 前記曲率半径  $r$  (m) の円弧と、前記電線の直径  $D$  (m) と、隣りあう溝の中心に対する角度  $\theta$  (度) との関係は、

$$10 \cdot \frac{r}{D} + \log \theta > 2.55$$

となるように選ばれたことを特徴とする特許請求の範囲第1項記載の送電線。

## 発明の詳細な説明

この発明は送電線に関し、特に低風圧化されまたは低風音化された送電線に関する。

周知のように、送電線はアルミや銅などのように抗張力の高い断面円形の素線を、銅心の外周に長手方向に撚り合わせて構成される。ところで、送電線に風が当たると、空気抵抗を生じ、該抵抗によつて送電線に加わる荷重が異なるため、受風面の抵抗係数を小さくするのが望ましい。以下に、その理由について図面を参照して説明する。

第1図は従来の送電線の種類別のレイノルズ数  $R$  と受風面の抵抗係数  $C_x$  との関係を示す図である。図において、横軸はレイノルズ数  $R$  を示し、縦軸は受風面の抵抗係数  $C_x$  を示し、片対数目盛で表わしたものである。そして、図中の実線で示す曲線  $a$  は試料として最外層を外径  $10.6$  mm の素線  $30$  本で撚り合せた外径  $11.6$  mm の撚線の場合の特性を示し、点線で示す曲線  $b$  は最外層を外径  $8.9$  mm の素線  $36$  本で撚り合せた外径  $11.6$  mm の撚線の場合の特性を示し、実線で示す曲線  $c$  は同じ外径が円筒(パイプ)状の場合の特性を示す。

周知のように、送電線の単位面積当りの最大風

3

圧  $P$  ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) は、空気密度を  $\rho$  ( $\text{kg} \cdot \text{sec}^2/\text{m}^4$ ) とし、受風面の抵抗係数を  $C_x$  (無次元) とし、風速を  $V$  ( $\text{m}/\text{sec}$ ) とすれば、第(1)式で表わされる。

$$P = \frac{1}{2} \rho C_x V^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

この抵抗係数  $C_x$  はレイノルズ数 (Reynolds 数) により決められる。ここで、レイノルズ数  $R$  は、送電線の外径を  $D$  ( $\text{m}$ ) とし、空気動粘性係数を  $\nu$  とすれば、第(2)式で表わされる。ただし、 $\nu$  は標準状態 (線路設計では通常  $15^\circ\text{C}$ 、1 気圧) で  $1.456 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{sec}$  で一定である。

$$R = \frac{VD}{\nu} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ところで、第1図の曲線 a または b に示すように、撚線の場合は、レイノルズ数  $R$  が小さい (例えば  $2 \times 10^4$ ) とし抵抗係数  $C_x$  が大きく、レイノルズ数  $R$  が  $4 \times 10^4 \sim 6 \times 10^4$  で最小となり、レイノルズ数  $R$  が  $6 \times 10^4$  以上でその抵抗係数  $C_x$  の変化幅が小さくなる。一方、曲線 c に示すような送電線の外周をパイプで覆ったものまたはパイプ状の送電線を用いた場合は、レイノルズ数の小さな領域では抵抗係数が大きく、かつレイノルズ数  $R$  が大きくなるに従って、急激に抵抗係数  $C_x$  が低下する。そこで、理想的には、送電線の外周表面の円筒状にして抵抗係数  $C_x$  の最小値となる送電線を用いればよいことになる。しかしながら、抵抗係数  $C_x$  が最小値となるようにレイノルズ数  $R$  を選定するためには、通常の想定風速範囲では送電線外径が必要以上に大きくなり、実用化は困難である。

そこで、本件発明者は、種々の実験により、先に特願昭54-147478 (特公昭56-51444) 号で低風圧化された送電線を提案した。

第2A図はこの発明の背景となりかつ本件発明者が先に提案した送電線の全体の断面を示す図であり、第2B図は分割導体の拡大断面図を示す。送電線10は、内層11および12と最外層13とから構成される。この内層11は第2A図では省略して示されているが、通常内層12のように

4

断面円形の素線を撚り合わせた層で構成されている。この最外層13は、断面から見てリング形状でありかつ外周表面の平滑な導体を放射状に分割

して複数 ( $n = \frac{360}{\theta}$ ) の分割導体131～

13n とされる。ここで言う分割導体は、セグメント素線と称される場合もある。これらの複数の分割導体131～13nは、第2B図に示すように、分割面の外周側の両角が曲率半径  $r$  ( $\text{m}$ ) の円弧状に形成される。そして、分割導体131～13nが内層12の外周に環状に並べられて長手方向に撚り合わせられることによつて、送電線10が構成される。これによつて、送電線10の外周面には、複数本の溝14が形成される。この溝14の形状は、曲率半径  $r$  ( $\text{m}$ ) で描かれる2つの円弧の一端を分割導体の分割面で突き合わせかつそれぞれの円弧の他方端を分割面から離れた分割導体の外周方向へ延ばせたような形状、いわゆるラッパ形状に選ばれる。そして、隣りあう溝の中心に対する角度 (以下開き角と称す) が  $\theta$  で表わされる。

第3図は第2A図に示す送電線10を用いて溝の開き角  $\theta$  を一定とした場合において、電線の直径  $D$  ( $\text{m}$ ) と曲率半径  $r$  ( $\text{m}$ ) との比が異なるように試作した資料で実験したレイノルズ数  $R$  と抵抗係数  $C_x$  との関係を示す図である。図において、横軸は対数目盛でレイノルズ数  $R$  を示し、縦軸は抵抗係数  $C_x$  を示す。そして、実線で示す特性曲線 (以下曲線) d, e, f は溝の開き角  $\theta$  を一定 ( $\theta = 12^\circ$ ) とした場合における曲率半径比率  $\frac{r}{D}$  を異ならせた資料別の実験結果を示す。ここで、

曲線 d は曲率半径比率  $\frac{r}{D} = \frac{17.4}{1000}$  の場合を示し、

曲線 e は  $\frac{r}{D} = \frac{29.1}{1000}$  の場合を示し、曲線 f は  $\frac{r}{D} = \frac{34.9}{1000}$  の場合を示す。ところで、通常、送電

線の風圧計算を行なう場合は、風速の変化を考慮して、レイノルズ数  $R$  の変化に比べて抵抗係数  $C_x$  の変化率の少ない領域を用いる。そこで、各実験によつて得られた曲率半径比率別の曲線 d, e, f の使用範囲を選ぶ場合は、次のごとく決められる。すなわち、各曲線 d, e, f の抵抗係数

5

Cx が最小値となる点を結んだ1点鎖線x 1をレイノルズ数Rの最小値の領域に選ぶ。一方、レイノルズ数の最大値は、線路設計者に周知のように、レイノルズ数の最小値から2倍のレイノルズ数の範囲に選ばれる。これは、実際の風速が設計風速に比べて上下に変化するのを考慮して、2倍の範囲に選ぶことによる。したがって、設計上使用されるレイノルズ数は、1点鎖線x 1で示される最小値の領域から2点鎖線y 1で示される最大値の領域の範囲に選ばれる。すなわち、レイノルズ数Rは、開き角 $\theta = 12^\circ$ の場合、曲率半径比率 $\frac{r}{D} = \frac{17.5}{1000} \sim \frac{34.9}{1000}$ の範囲においては約 $7.1 \sim 28 \times 10^4$ の範囲に選ばれる。

次に、第2A図に示すこの発明の背景となる送電線10と第1図に示す従来の送電線との抵抗係数Cxを比較検討する。たとえば、レイノルズ数 $R = 7.5 \sim 20 \times 10^4$ の範囲において、第2A図のごとく構成された送電線10の抵抗係数Cxが $Cx = 0.4 \sim 0.6$ であるのに対し、従来の送電線では抵抗係数 $Cx = 0.9 \sim 0.95$ である。したがって、この送電線10は、従来のものに比べてレイノルズ数 $R = 7.5 \sim 20 \times 10^4$ の範囲において、抵抗係数Cxを0.3~0.55だけ小さくできることがわかった。このように、抵抗係数Cxを小さくすることによつて、抵抗係数Cxを小さくできた比率に相関して送電線の風圧を低減でき、低風圧効果の得られることがわかる。

前述のような低風圧化された送電線は、各種の実験から曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ と開き角 $\theta$ との関係を適当に選ぶことによつて、或る形状係数によつて定量的に表わすことが伺える。そこで、以下には、低風圧電線を形状係数との関係において定量的に表わすための検討を試みる。

第4A図は第3図における1点鎖線x 1で示される最小値と2点鎖線y 1で示される最大値を、レイノルズ数Rと曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ との関係に置換えた図である。第4A図では、レイノルズ数Rが対数目盛の横軸で示され、抵抗係数Cxが縦軸で示される。第4A図に示す1点鎖線x 2は、第3図の1点鎖線x 1で示す各資料別のレイノルズ数Rの最小値に対する曲率半径比率

6

$\frac{r}{D}$ を第4A図上にプロットし、各点を結んだものである。また、2点鎖線y 2は第3図の2点鎖線y 1で示す各資料別のレイノルズ数Rの最大値に対する曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ を第4A図上にプロットし、各点を結んだものである。

同様にして、本件発明者は開き角 $\theta$ を異ならせかつ同じ開き角 $\theta$ 別に曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ を変化させた資料を試作し、その実験値に基づいてレイノルズ数Rと曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ との関係を調べた。すると、

第4A図に示すレイノルズ数の最小値の領域を表わす1点鎖線x 2の傾きと同じ傾きを示しかつ横軸方向の値のみが変化することがわかった。一例として、 $\theta = 45^\circ$ の場合の測定値が第4B図に示される。このことから、第4A図に示す1点鎖線x 2の傾きを求めれば、曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ とレイノルズ数Rとの関係が一定の関数で表わされることがわかった。

そこで、関数を求めたところ、 $\frac{r}{D} = \frac{K1}{R}$  ( $K1 = \text{一定}$ )と表現でき、定数K1は曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ とレイノルズ数Rとの積で表わされることがわかった。そして、例えば $\theta = 12^\circ$ の場合は第3図の曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ 別の各資料の曲線d, e, f

を観察すれば、 $\frac{r}{D} = \frac{17.4}{1000}$ のときレイノルズ数

Rが $14.4 \times 10^4$ であり、 $\frac{r}{D} = \frac{29.1}{1000}$ のとき

レイノルズ数Rが $8.6 \times 10^4$ であり、 $\frac{r}{D} =$

$\frac{34.9}{1000}$ のときレイノルズ数Rが $7.2 \times 10^4$ で

あることから、 $K1 = 2500$ を得る。したがつ

て、第4A図の1点鎖線x 2で示す曲線の一般式は $\frac{r}{D} = \frac{2500}{R}$ で表わされる。同様にして、第3

図の2点鎖線y 1で示す最大値の定数K1は、 $K1 = 5000$ となる。このことから、第4A図

7

の2点鎖線y 2で示す曲線の一般式は $\frac{r}{D} = \frac{5000}{R}$ となる。このことから、開き角 $\theta = 12^\circ$ の場合は、曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ とレイノルズ数Rとの関係が $\frac{r}{D} = \frac{2500}{R} \sim \frac{5000}{R}$ の範囲となるように、曲率半径比率を選べばよいことがわかった。

第5図は第2A図の送電線において曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ を一定( $\frac{r}{D} = \frac{34.9}{1000}$ )として開き角 $\theta$ を変えた場合におけるレイノルズ数Rと抵抗係数Cxとの関係を示す図である。図において、曲線gは $\theta = 12^\circ$ の場合を示し、曲線hは $\theta = 24^\circ$ の場合を示し、曲線iは $\theta = 36^\circ$ の場合を示し、曲線jは $\theta = 45^\circ$ の場合を示す。この場合における各資料別の抵抗係数の最小値を結んだ線が1点鎖線x 3で示される。また、最小値のレイノルズ数Rの2倍の値を最大値に選んだ場合における各資料別の最大値を結んだ線が2点鎖線y 3で示される。

第6A図は第5図における1点鎖線x 3で示される最小値と2点鎖線y 3で示される最大値をレイノルズ数Rと開き角 $\theta$ との関係に置き換えて示した図である。そして、第6A図において有効に使用し得る範囲は、x 4とy 4の間である。なお、曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ を変化させた資料で各種実験したが、これらの実験から曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ を変化

させた場合においても、レイノルズ数Rと開き角 $\theta$ との関係は、全て直線で表わされかつ同じ傾きになることがわかった。

一例として、 $\frac{r}{D} = \frac{29.1}{1000}$ の場合の測定値が第

$$r = (2500 \sim 5000) \frac{1.456 \times 10^{-5}}{V} = \frac{0.0364 \sim 0.0728}{V} \quad \text{.....(5)}$$

上記第(5)式から、曲率半径rは、設計風速値のみによって決められることがわかる。

一方、曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ ( $= \frac{34.9}{1000}$ )を一定としかつ開き角 $\theta$ を変化させた場合における最適の

8

\* 6B図に示され、 $\frac{r}{D} = \frac{45.5}{1000}$ の測定値が第6C図に示される。

例えば、第6A図の1点鎖線x 4の傾きから開き角 $\theta$ とレイノルズ数Rとの関係を求めると、第5図においてレイノルズ数Rを最小値に選んだ場合における開き角 $\theta$ の関数は、 $\theta = 11.3 \log R \times 10^{-5} + 28.5$ で表わされる。また、2点鎖線y 4の傾きから開き角 $\theta$ とレイノルズ数Rとの関係を求めると、第5図におけるレイノルズ数Rを最大値に選んだ場合における開き角 $\theta$ の関数は、 $\theta = 11.3 \log R \times 10^{-5} - 5.2$ で表わされる。

以上の説明および特性図から、本件発明の送電線が適用可能な範囲を計算式によつて算出すれば次のとおりとなる。

まず、開き角を $\theta = 12^\circ$ の一定とし、曲率半径比率( $\frac{r}{D}$ )を変化した場合における最適のレイノルズ数Rの範囲は、第4A図を参照して説明したように、第(3)式で表わされる。

$$\frac{r}{D} = \frac{2500}{R} \sim \frac{5000}{R} \quad \text{.....(3)}$$

第(3)式から曲率半径rを求めると、第(4)式で表わされる。

$$r = \frac{D}{R} (2500 \sim 5000) \quad \text{.....(4)}$$

第(4)式に $R = \frac{VD}{\nu}$ を代入すると、曲率半径rは第(5)式で表わされる。

$\theta$ とレイノルズ数Rとの関係は、第5図を参照して説明したように第(6)式で表わされる。

$$\theta = 11.3 \log R \times 10^{-5} + (28.5 \sim -5.2) \quad \text{.....(6)}$$

9

10

第(6)式からレイノルズ数Rの関係式を求めると、※に、レイノルズ数Rに逆比例する関係にある。その第(7)式で表わされる。

$$R = 10^5 \frac{\theta - (28.5 \sim -5.2)}{113} \times 10^5 \dots\dots(7)$$

ここで比例定数をK1とすれば、曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ は

第(8)式のごとくなる。

$$\frac{r}{D} = \frac{K1}{D} \dots\dots\dots(8)$$

上記第(5)式と第(7)式に基づいて曲率半径比率および開き角 $\theta$ の最適な条件を算出すると、以下のごとくなる。すなわち、開き角 $\theta$ を一定とした場合の曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ は、第(3)式から明らかなよう※

次に、比例定数K1は曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ が $\frac{34.9}{1000}$ の実測結果より第(8)式に第(7)式のRを代入して求められる。

$$K1 = \frac{34.9}{1000} R = 34.9 \times 10^{-3} \times 10^5 \frac{\theta - (28.5 \sim -5.2)}{113} \times 10^5 \dots\dots\dots(9)$$

したがって、開き角 $\theta$ が与えられた場合、設計風速Vのときの最適の曲率半径rは次の範囲となる。

$$r = \frac{DK1}{R}$$

\*20 ただし、

$$R = \frac{DV}{\nu}$$

$$= \frac{K1 \nu}{V}$$

$$= 3490 \left( 10^{\frac{\theta - 28.5}{113}} \sim 10^{\frac{\theta + 5.2}{113}} \right) \times \frac{1.456 \times 10^{-5}}{V} \dots\dots\dots(10)$$

$$= \frac{0.0508}{V} \left( 10^{\frac{\theta - 28.5}{113}} \sim 10^{\frac{\theta + 5.2}{113}} \right)$$

これにより、第(10)式で表わされる曲率半径rを選ぶには、設計風速値と開き角 $\theta$ を定めれば、最適の曲率半径rの範囲を知ることができる。

したがって、上記第(10)式を満足する曲率半径rの円弧を2つ突き合わせた溝を送電線の外周の長手方向に沿って複数本形成することによつて、低風圧化された送電線を実現できることがわかった。

ところで、送電線は10m/sec程度またはそれ以上の風速が当たると、通常のACSR(鋼心

アルミ撚り線)などの表面に、カールマン渦が生じ、うなりに似たエルロス音と称される風音を発生する。このような風音は、送電線を架設している付近の住民に不快感を与えるので、これを低減する必要がある。

第7図は従来の送電線より発生する風音について周波数(Hz)の帯域別に音圧レベル(dB)を測定した特性図である。この測定例では、最大の音圧レベルを有する周波数帯域から1オクター



幅Aを3等分した $\frac{1}{3}$ オクターブ幅毎に音圧レベルを10秒評価によつて測定したものである。この音圧レベルが大きいほど耳障りな風音となるが、従来の送電線は音圧レベルが非常に高かつた。特に、最大音圧レベルの周波数帯域の風音が非常に耳障りな音となる。

本件発明者は、特願昭55-129605(特開昭57-53005)号において、第2A図に示す構造の送電線を用いて、低風圧電線のみならず、低風音電線も提案した。そこで、以下に本件発明者が提案した低風音電線について説明する。

前述の第2A図に示す送電線10を用いて低風音化電線を実現しようとする試みは、最外層が断面円形の素線を撚り合わせた層から成る従来の送電線、および最外層が表面平滑なパイプ層から成る送電線に生ずるカールマン渦の形成状態を分析した結果、着意したものである。ところで、前記送電線10における最適形状を見出すために、曲率半径 $r(m)$ 、電線直径(または外径) $D(m)$ 、

\*溝14の開き角 $\theta$ (度)と、最大音圧レベル差 $\Delta L(dB)$ との関係を実験した。ここで、最大音圧レベル差 $\Delta L(dB)$ とは、最外層が円形素線の撚り合わせ層から成る従来の送電線の最大音圧レベルを基準としたとき、同一直径を有する第2A図に示す送電線10の最大音圧レベルとの差を言う。

この実験では、80cm×80cmの低騒音風洞を用い、吹出口から50cmの位置に送電線10を置いて行なつた。また、実験では風速が15m/sec、25m/secの2種類で行なつた。これは風速が15m/sec以下では送電線による風音があまり問題とならず、風速35m/sec以上では送電線による風音に比べて風速による周囲の騒音(暗騒音)の方が大きくなるためである。このような条件において、第2A図に示す送電線10の曲率半径 $r(m)$ 、外径 $D(m)$ 、溝の開き角 $\theta$ (度)を適当に異ならせた実測結果と、同一の実線直径 $D(m)$ の実測結果とを対比した場合における風速率半径 $r(m)$ 、電線直径(または外径) $D(m)$ 、\*20別の最大音圧レベル差 $\Delta L(dB)$ を第1表に示す。

第 1 表

電 線 構 造			最大音圧レベル差 $\Delta L(dB)$	
直径 $D$ ( $\times 10^{-3} m$ )	開き角 $\theta$ (度)	曲率半径 $r$ ( $\times 10^{-3} m$ )	風 速 15 m/sec	風 速 25 m/sec
38.4	36	2.9	+7.0	-2.5
38.4	45	2.3	+9.5	+2.5
38.4	45	3.0	+6.0	+2.0
38.4	45	4.6	+3.0	-3.0
38.4	60	4.5	+1.0	-6.5
52.8	60	4.0	+3.5	-6.5
38.4	90	5.0	-1.5	-7.0
52.8	90	5.0	+1.0	-3.0

第 2 表

電 線 構 造			最大音圧レベル差 $\Delta L$ (dB)		形状係数 $K_2$
直径 $D$ ( $\times 10^{-3}$ m)	開き角 $\theta$ (度)	曲率半径 $r$ ( $\times 10^{-3}$ m)	風 速 15 m/sec	風 速 25 m/sec	
38.4	36	2.9	+7.0	-2.5	2.32
38.4	45	2.3	+9.5	+2.5	2.25
38.4	45	3.0	+6.0	+2.0	2.43
38.4	45	4.6	+3.0	-3.0	2.85
38.4	60	4.5	+1.0	-6.5	2.95
52.8	60	4.0	+3.5	-6.5	2.53
38.4	90	5.0	-1.5	-7.0	3.25
52.8	90	5.0	+1.0	-3.0	2.90

第8図は従来の送電線と第2A図に示す送電線10との風音について周波数の帯域別に音圧レベルを測定した特性図である。特に、実線は従来の送電線の場合を示し、点線は第2A図に示す送電線10の音圧レベルを示す。ここで、最大音圧レベルとなる周波数帯域における従来の送電線の音圧レベルとこの送電線10の音圧レベルとの差、すなわち最大音圧レベル差が $\Delta L$ で示される。

表1において、最大音圧レベル差 $\Delta L$  (dB) が負(-)の場合は、同一直径における従来の送電線に比べてこの送電線10の方が最大音圧レベルの低いことを意味する。この第1表を検討した結果、電線の直径 $D$  (m) と曲率半径 $r$  (m) とは低風音化に当つて相関関係にあると考えられる。すなわち、曲率半径 $r$  (m) と電線の直径 $D$  (m) との比、いわゆる曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ が最大音圧レベル差 $\Delta L$ と相関関係にある。一方、開き角 $\theta$  (度) の変化に対する最大音圧レベル差 $\Delta L$ の変化は、曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ に比べて軽微であるが、全く無関係とは言えない。そこで、開き角 $\theta$ と最大音圧レベル差 $\Delta L$ との関係は、開き角 $\rho$  (度) の対数 (すなわち $\log \theta$ ) で表わすのが適当であると考えられる。したがって、最大音圧レベル差 $\Delta L$ を送電線10の形状との関係で表現するとすれば、送電線10の形状係数 $K_2$ は第(11)式で表現できる

ことがわかった。

$$K_2 = 10 \cdot \frac{r}{D} + \log \theta \quad \cdots \cdots (11)$$

そこで、第1表に示すデータを形状係数との関係で整理すると、第2表および後述の第9図を得た。

第9図は第2A図に示す送電線10の形状係数 $K_2$ と最大音圧レベル差 $\Delta L$ との関係を風速別に示した図である。図において・印を結んだ実線 $k$ は風速15 m/secにおける形状係数 $K_2$ と最大音圧レベル差 $\Delta L$ との関係を示し、×印を結んだ実線 $l$ は風速25 m/secにおける形状係数 $K_2$ と最大音圧レベル差 $\Delta L$ との関係を示す。

第9図から電線の直径 $D$  (m) と曲率半径 $r$  (m) とは、常に曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ によつて最大音圧レベル差 $\Delta L$ に対して影響を与えることが確認された。また開き角 $\theta$  (度) は $\log \theta$ の形で最大音圧レベル差 $\Delta L$ に影響を及ぼすことが確認された。この場合において、最大音圧レベル差 $\Delta L$ に対する曲率半径比率 $\frac{r}{D}$ の影響は、 $\theta$  (または $\log \theta$ ) の影響よりも大きく、形状係数 $K_2$ が一定の場合であれば風速が大きいほど最大音圧レベル差 $\Delta L$ が低くなることが確認された。ここで、最大

15

音圧レベル差  $\Delta L$  は負の値にならないければ、風音を低減する効果がない。

以上の分析に基づいて、第9図を考察すると、最大音圧レベル差が0より小(すなわち負)となる風速別の形状係数は、風速  $15 \text{ m/sec}$  では形状係数  $K_2 > 3.05$  の範囲、風速  $25 \text{ m/sec}$  では形状係数  $K_2 > 2.55$  の範囲において、風音の低減効果を発揮できることが理解できる。しかし、一般に風速の低い領域においては、最大音圧レベルの値自体が風速の高い領域における値よりも低く、実験値程度では實際上それほど問題にならない。以上のことを考慮すると、風速  $25 \text{ m/sec}$  において最大音圧レベル差  $\Delta L$  が負の値となる形状係数、すなわち形状係数  $K_2$  が  $2.55$  よりも大きな値となるように、送電線10の直径  $D(\text{m})$ 、曲率半径  $r(\text{m})$ 、開き角  $\theta(\text{度})$  のそれぞれを選ぶことにより、風音問題の生ずる相対的に高い風速領域において、最大音圧レベルを低下させることができ、低風音効果を発揮できることがわかった。

ところで、本件発明者が先に提案した低風圧および低風音に顕著な効果を有する送電線10は、製造に際して、強度その他の面から分割導体の高さ  $h$  に制限があるため、曲率半径  $r$  が一定値よりも大きくなつた場合、分割導体の撚り合わせが困難になるという問題点に遭遇した。たとえば、第10A図に示すように、分割導体の高さ  $h$  が円弧の曲率半径  $r$  より充分大きくとれないとき、すなわち  $h \approx r$  のとき、分割導体の円周方向両端に円弧と分割導体の内周面との交点が生じる。このような分割導体を複数本環状にして撚り合わせた場合は、隣接する分割導体の円周方向両端部分が線接触しているため、一方の分割導体が他方の分割導体の円弧部分の上に乗上げて、正確な撚り合わせが困難になる。特に、開き角を大きく選んだ場合は、強度その他の面から第10B図に示すように、分割導体を複数個に分割する必要性が生じる。このような場合は、円弧の形成された円周方向両端の分割導体それぞれ自身で非対称形状であるため、ひねり力に対して極めて不安定となり、正確な撚り合わせが困難となる。

それゆえに、この発明の主たる目的は、その高さ  $h$  が充分とれない分割導体を撚り合わせて送電線を製作する場合、強度的に強くかつ撚り合わせ

16

が容易であつてしかも正確に撚り合わせが行なえるように改良した送電線を提供することである。

この発明の他の目的は低風圧または低風音電線として有利に用いられる送電線を提供することである。

この発明を要約すれば、開き角の大きな分割導体の両端に形成された円弧の一部を省略して突合わせ代を設けることにより、撚り合わせを容易にしたものである。そして、この発明の送電線を低風圧送電線として用いる場合は、曲率半径  $r$  が前述の第(10)式に示す条件を満足するように限定される。また、この発明の送電線を低風音電線として用いる場合は、前述の第(11)式で示される  $K_2$  が  $2.55$  より大きくなるように選定される。

以下に、図面を参照してこの発明の具体的な実施例について説明する。

第11A図はこの発明の一実施例の送電線20の断面図であり、第11B図はこの実施例の送電線に用いられる分割導体の拡大断面図であり、第11C図は分割導体の円弧の選び方を説明するための図である。この実施例の送電線20は、内層21および22と最外層23とから構成される。内層21および22は、断面円形の素線を撚り合わせた層を複数層にして構成される。この発明の特徴となる最外層23は、断面から見てリング形状の外周表面の平滑な導体を放射状に分割して複数の分割導体とし、この複数の分割導体を送電線の長手方向に撚り合わせて構成されている。これらの複数の分割導体231~23nは、第11B図に示すように、円周方向両端の外周の角が曲率半径  $r$  の円弧状に形成される。この曲率半径  $r$  は、分割導体の高さ  $h$  とほぼ近似の値になつている。そして、分割導体の内周側に接する円弧部分の一部には、突合わせ代  $t$  の切欠部が形成される。突合わせ代  $t$  は接線が送電線の中心を通るように構成される。突合わせ代  $t$  との接点における円弧の接線は、送電線の中心を通らないように構成されている。このような形状の分割導体231~23nは、例えば線状または棒状の銅やアルミ等の導電性材料を熱しておき、第11B図に示すような形状の金型を通して引抜き加工によつて作られる。このようにして作られた分割導体231~23nが内層22の外周に環状に並べられて、長手方向に撚り合わせられる。これによつて、送電



17

線20の外周面には、曲率半径 $r$ の2つの円弧を突き合わせたようなラツパ形状の溝24が複数本形成される。

前述の第11A図および第11B図に示す送電線20を低風圧電線または低風音電線として有利に用いるために、本件発明者は曲率半径 $r$ ( $m$ )、開き角 $\theta$ (度)、電線の直径 $D$ ( $m$ )、風速 $V$ ( $m/sec$ )および突合わせ代 $t$ ( $m$ )を変化させて、種々の実験を行ない、最適の条件を求めることを試みた。その結果、前記溝24を形成するための円弧の長さは、当該円弧の曲率半径 $r$ と同一半径で描かれる円周長さ全体の $\frac{75}{360}$ 以上あれば、同一曲率半径 $r$ で完全な円弧となる場合とはほぼ同等の効果を有することがわかった。ここで、完全な円弧とは、前述の第10A図に示すごとく、円弧の送電線中心側の終端部における円弧の接線が送電線の中心を通る位置まで描かれた場合の円弧をいう。

次に、第11C図を参照して、円弧と曲率半径 $r$ との関係について説明する。分割導体の円弧を $\widehat{AB}$ とし、円弧 $\widehat{AB}$ の曲率半径を $r$ とした場合の円弧と曲率半径 $r$ との関係は、第(12)式で表わされる。

$$\begin{aligned}\widehat{AB} &\geq \frac{75}{360} \times 2\pi r \\ &\geq \frac{5}{12} \pi r\end{aligned}\quad \dots\dots\dots(12)$$

換言すれば、 $\widehat{AB}$ の挟み角 $\phi$ が $75^\circ$ 以上あれば、第2B図または第10A図に示す分割導体と同一曲率半径 $r$ からなる完全な円弧の溝を形成した場合とはほぼ同等の効果を有することがわかった。

したがって、本件発明の背景となる低風圧化または低風音化を目的とした送電線を実施する際に、製造条件上分割導体の高さ $h$ に制限を受けて $h \div r$ となる場合には、第11B図のごとく構成すればよい。すなわち、本件発明は、溝24を形成する円弧が上記第(12)式を満足する範囲内で突合わせ代 $t$ を設けることにより、低風圧および低風音の効果を有し、しかも確実に安定な燃り合わせ構造の送電線を実現できる。

18

上述のように、一定長さ以下の突合わせ代 $t$ を設けても同一曲率半径の完全な円弧からなる溝の場合とはほぼ同等の効果が得られるのは、以下の理由によると思われる。すなわち、風圧および風音の問題は、主として溝の入口付近の形状に起因し、溝の一定以上の深さでは風の流れが殆んどなく、たとえあつたとしても風の剥離などにより、風圧および風音問題に殆んど影響を与えないためである。

なお、各種の実験により、通常送電線の場合において、突合わせ代 $t$ は約1mm程度以上あるのが好ましいことが確認された。また、分割導体の高さ $h$ は強度などの面から通常送電線であれば、5mm程度以下にすることが好ましい。

なお、実際の送電線の製造にあたつては、正確な円弧を描くことの困難さ、円弧と突合わせ代 $t$ の交差部を正確に製造することの困難さ、および隣接する分割導体の正確な突合わせの困難さを考慮して設計値を決める必要がある。

第12図はこの実施例の送電線の一例の風圧特性と、同じ形状であつて突合わせ代を設けない送電線の風圧特性とを対比して示す図である。第13図に示した送電線は、次の条件に選ばれている。すなわち、

25

曲率半径	$r = 5.0 \times 10^{-3} \text{ m}$
開き角	$\theta = 90^\circ$
直径	$D = 38.4 \times 10^{-3} \text{ m}$
突合わせ代	$t = 1.2 \times 10^{-3} \text{ m}$
高さ	$h = 5.0 \times 10^{-3} \text{ m}$

30

なお、第12図の図中において、曲線 $m$ は突合わせ代 $t$ を設けない場合を示し、曲線 $n$ はこの発明の特徴となる突合わせ代 $t$ を設けた場合の送電線を示す。第12図から明らかなように、この発明のごとく、突合わせ代を設けた場合であつても、レイノルズ数 $R$ に対する抵抗係数 $C_x$ は、突合わせ代 $t$ を設けないものとはほぼ同等の結果が得られる。また、レイノルズ数 $R = 7.5 \sim 2.0 \times 10^{-4}$ の範囲では、抵抗係数 $C_x$ が $0.74 \sim 0.81$ であるので、第1図に示す従来の送電線の場合に同じ範囲で $0.9 \sim 0.95$ であるのに比べて、抵抗係数 $C_x$ を $0.09 \sim 0.21$ だけ小さくできる。

19

第13図は第12図で風圧特性の示された送電線と同じ送電線について風音特性を実験した結果を示す図である。図において、曲線oは突合わせ代tを設けないものを示し、曲線pは突合わせ代tを設けたものを示す。第13図を検討すると、上記の条件に選ばれた送電線は、従来の断面円形の素線を用いたものに比べて最大音圧レベル差  $\Delta L$  を低減できることが理解できる。

なお、溝を形成する2つの円弧は、低風圧を目的とする場合であれば第(10)式を満足する曲率半径  $r$  を、また低風音を目的とする場合であれば第(11)式で示される  $K_2$  が2.55以上になる曲率半径  $r$  を有していれば、曲率半径が連続的に変化した2次曲線、3次曲線、その他の曲線であつてもよく、さらに複数の円弧(前記の曲線を含む)の組合せであつてもよい。

以上のように、この発明によれば、最外層が複数の分割導体で撚り合せて構成される送電線を製造する場合において、分割導体の高さが充分とれない場合であつても、正確な撚り合せが容易に行なえ、製作が容易となるなどの特有の効果が奏される。これによつて、送電線の製造コストを低減することもできる。

この発明は低風圧または低風音電線を製造する場合に有利に用いられる。

#### 図面の簡単な説明

第1図は従来の送電線の種類別のレイノルズ数  $R$  と抵抗係数  $C_x$  との関係を示す図である。第2A図はこの発明の背景となる低風圧化および/または低風音化された送電線の断面を示す図解図であり、第2B図は当該送電線の分割導体の拡大断面図を示す。第3図は第2A図の送電線において開き角  $\theta$  を  $12^\circ$  一定とした場合における異なる曲率半径比率 ( $r/D$ ) を有する送電線別の実測値であり、縦軸は抵抗係数を示し、横軸はレイノルズ数を示す。第4A図は第3図における1点鎖線  $x_1$  で示される最小値と2点鎖線  $y_1$  で示される最大値をレイノルズ数と曲率半径比率との関係で示した図である。第4B図は  $\theta = 45^\circ$  の場

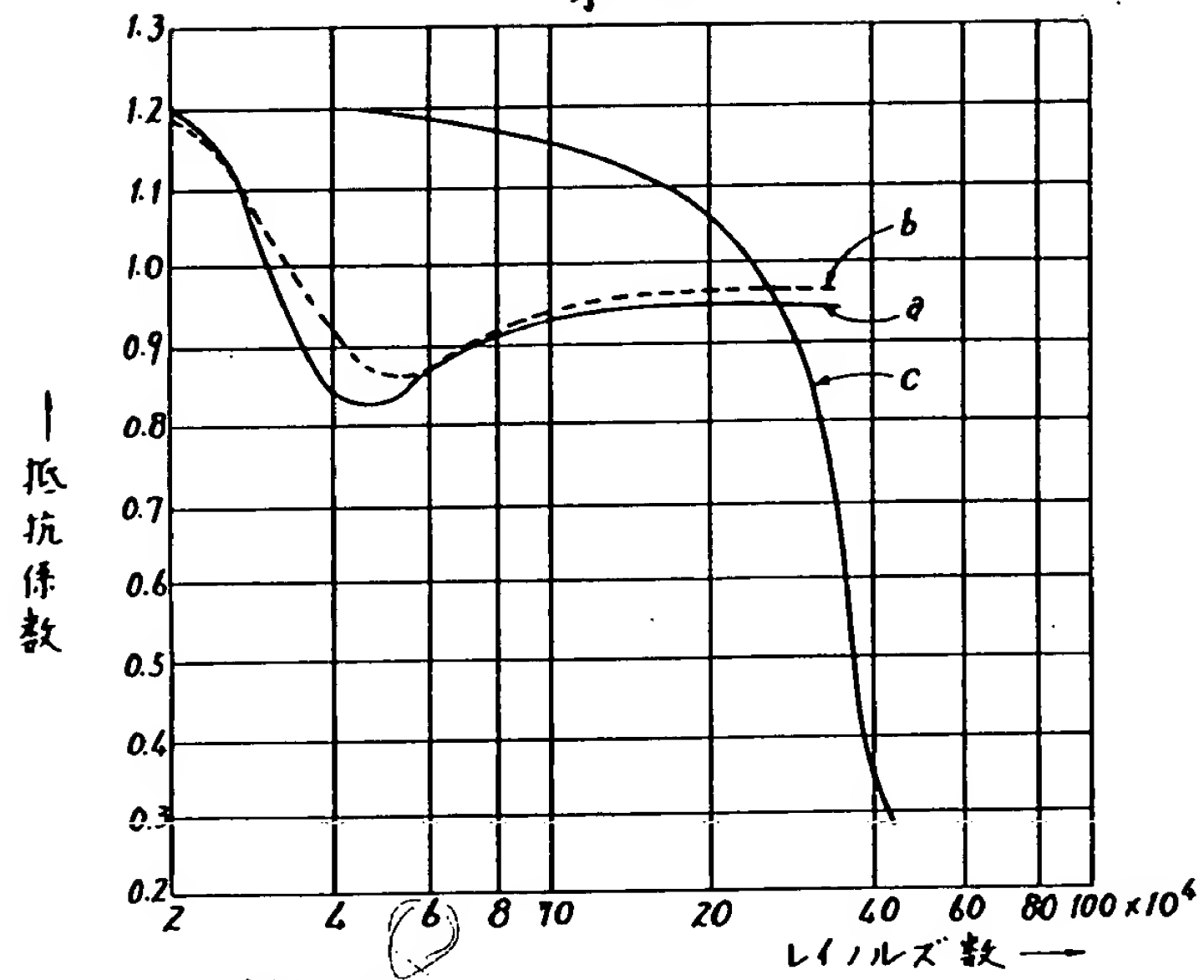
20

合における第4A図と同様の図である。第5図は第2A図の送電線において  $\frac{r}{D} = \frac{34.9}{1000}$  一定とした場合における異なる開き角を有する送電線別の実測値であり、縦軸は抵抗係数を示し、横軸はレイノルズ数を示す。第6A図は第5図における1点鎖線  $x_3$  で示される最小値と2点鎖線  $y_3$  で示される最大値をレイノルズ数  $R$  と開き角  $\theta$  との関係で示した図である。第6B図は  $\frac{r}{D} = \frac{29.1}{1000}$  の場合、第6C図は  $\frac{r}{D} = \frac{45.5}{1000}$  の場合における第

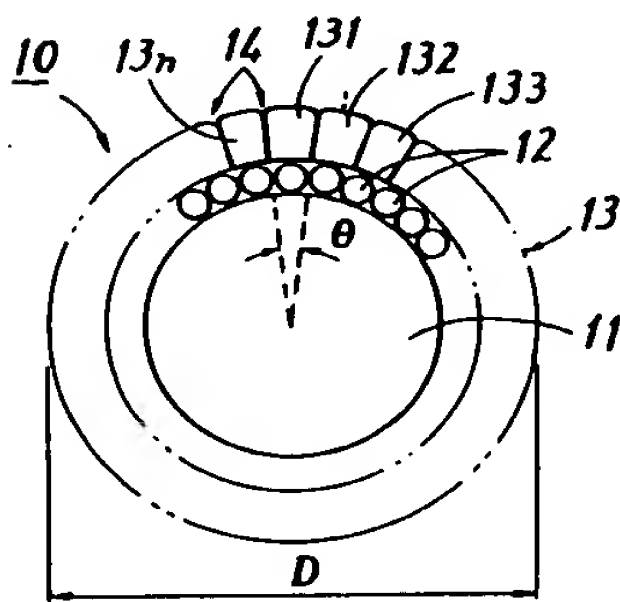
6A図と同様の図である。第7図は従来の送電線より発生する風音について周波数の帯域別に音圧レベルを測定した特性図である。第8図は従来の送電線および第2A図に示す送電線10より発生する風音について周波数の帯域別に音圧レベルを測定した特性図である。第9図は第2A図に示す送電線10の形状係数  $K_2$  と最大音圧レベル差  $\Delta L$  との関係を風速別に示す図である。第10A図は突合わせ代は有しないが完全な円弧を有する分割導体の拡大断面図であり、第10B図は第10A図の分割導体がさらに数分割された分割導体の拡大断面図である。第11A図はこの発明の一実施例の送電線の断面図であり、第11B図はこの発明の特徴となる分割導体の拡大断面図であり、第11C図はこの実施例の分割導体の円弧の選び方を説明するための図である。第12図はこの発明の技術思想を適用した送電線の一例の風圧特性を示す図である。第13図はこの発明の技術思想を適用した送電線の一例の風音特性を示す図である。

図において、10はこの発明の背景となる送電線、20はこの発明の一実施例の送電線、21および22は内層、23は外層、231~23nはこの発明の特徴となる分割導体、24は溝、 $r$  は曲率半径、 $D$  は直径、 $h$  は分割導体の高さ、 $t$  は突合わせ代を示す。

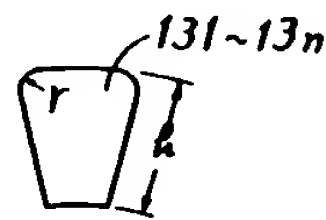
第1図



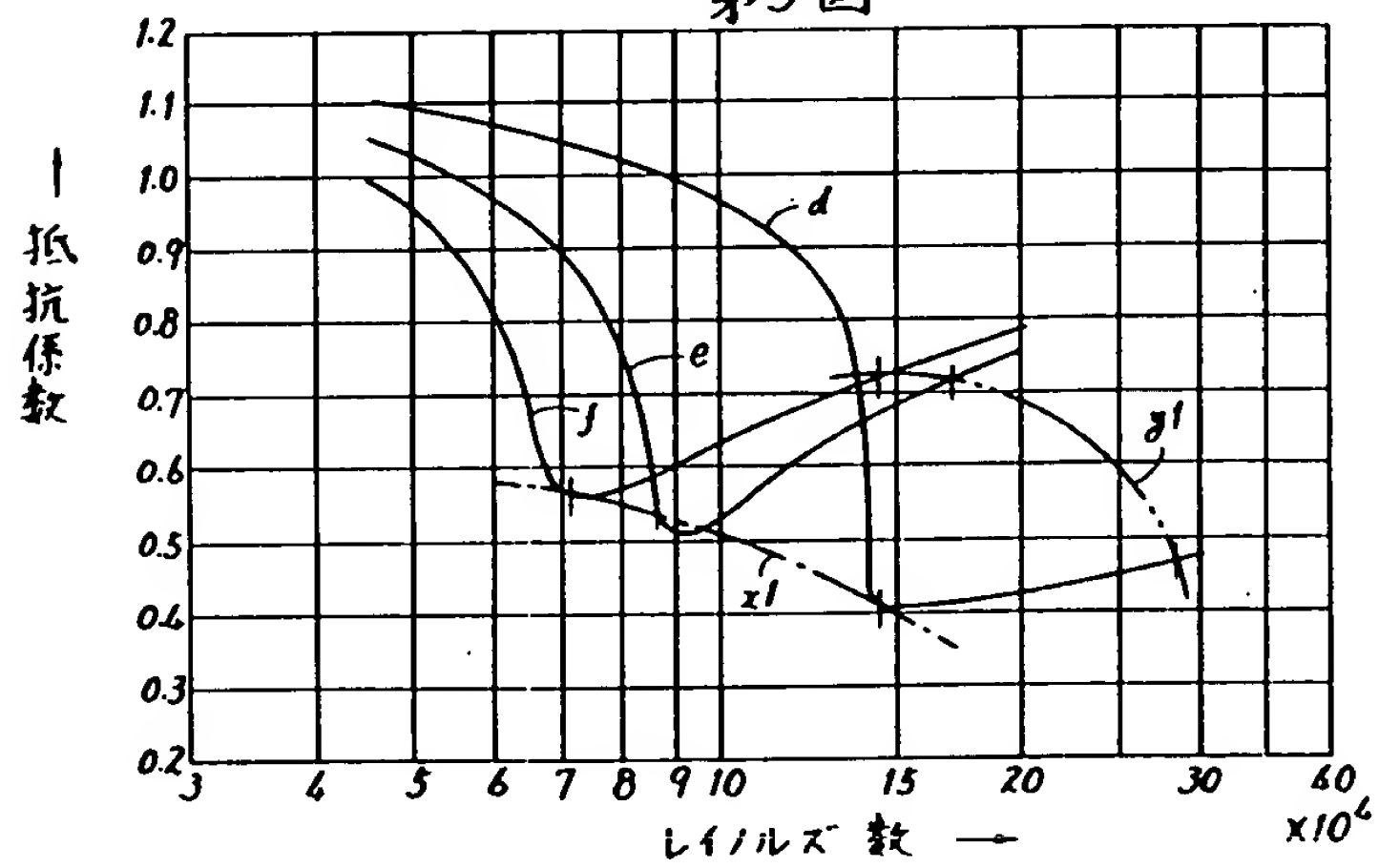
第2A図

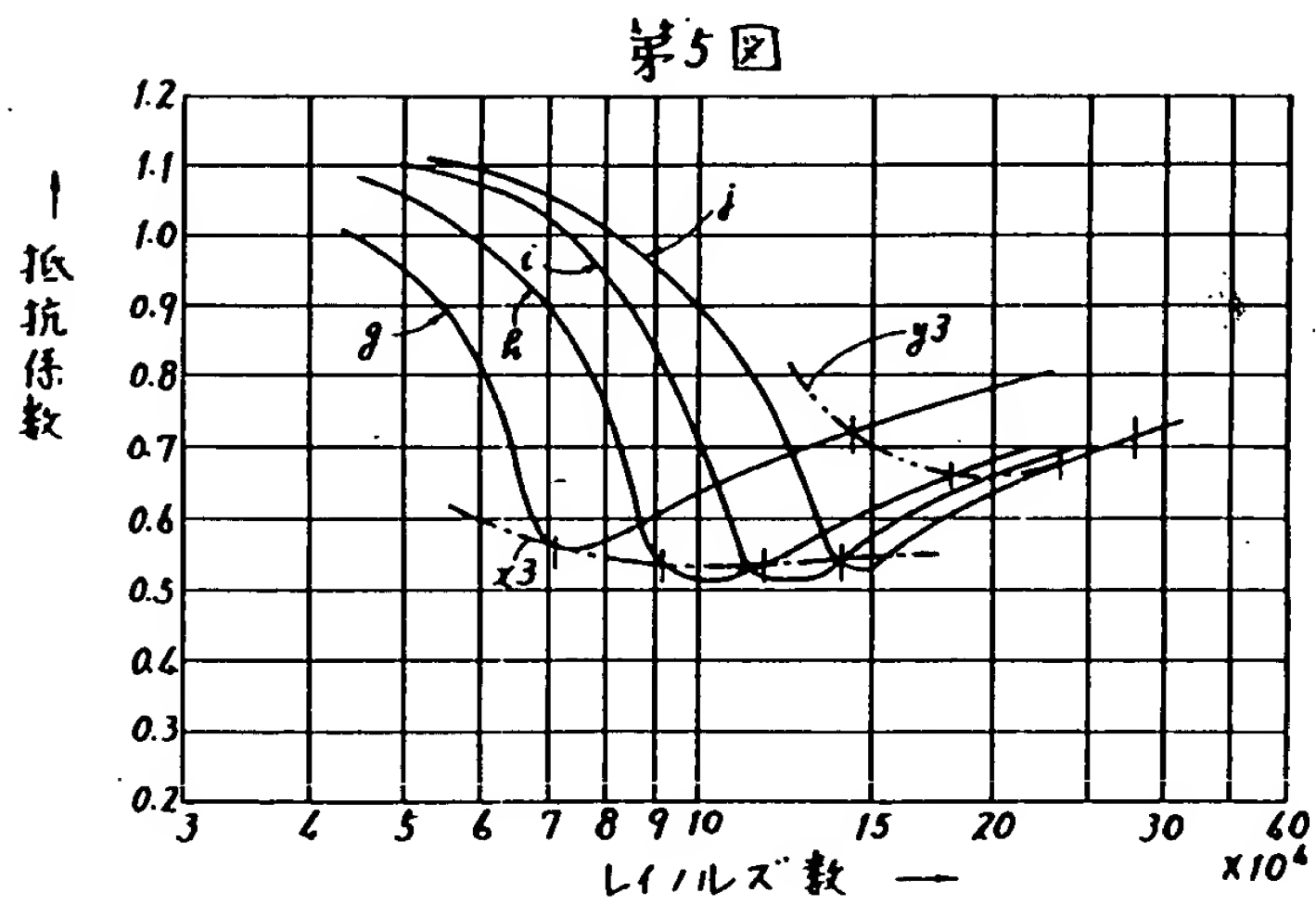
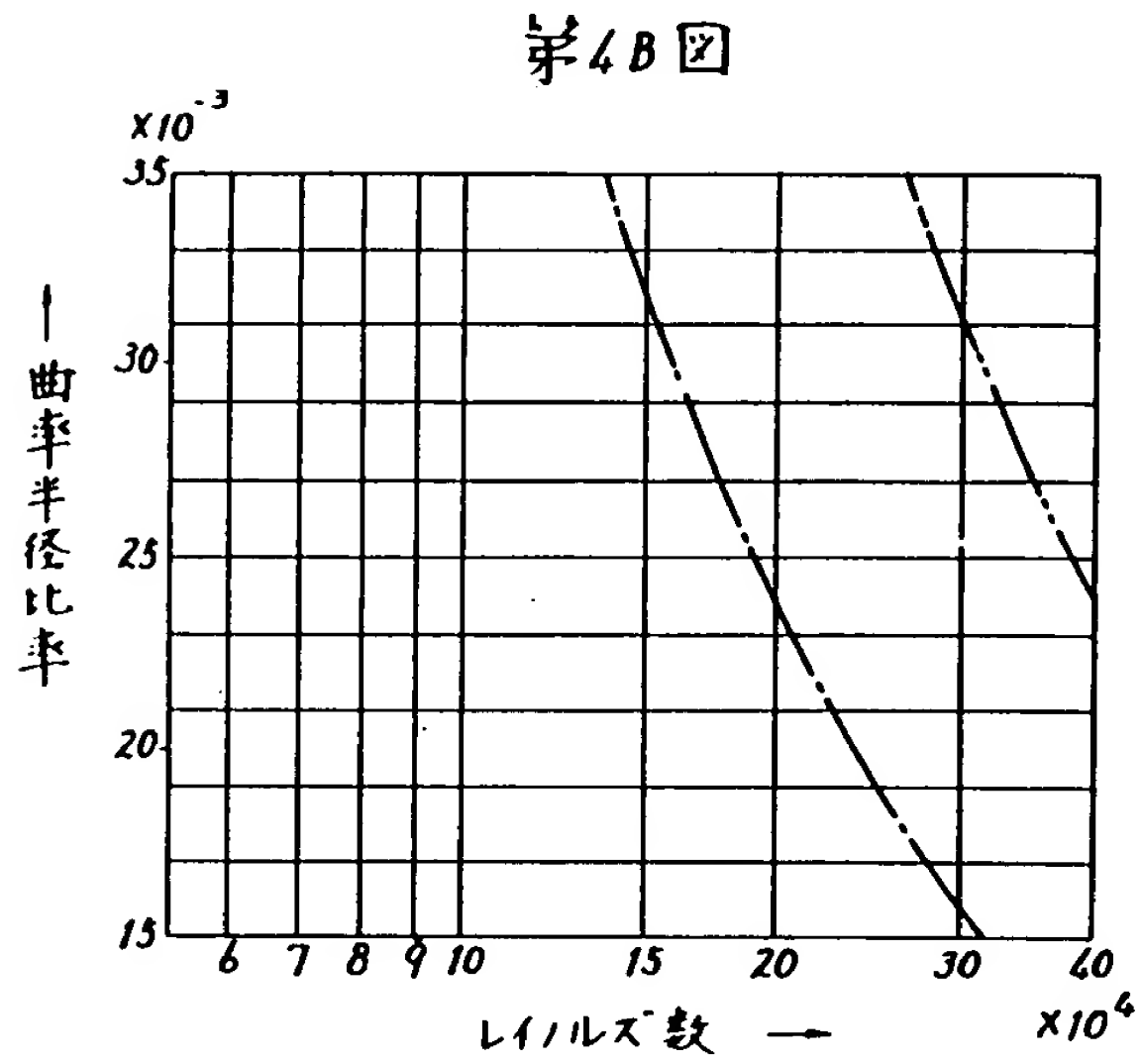
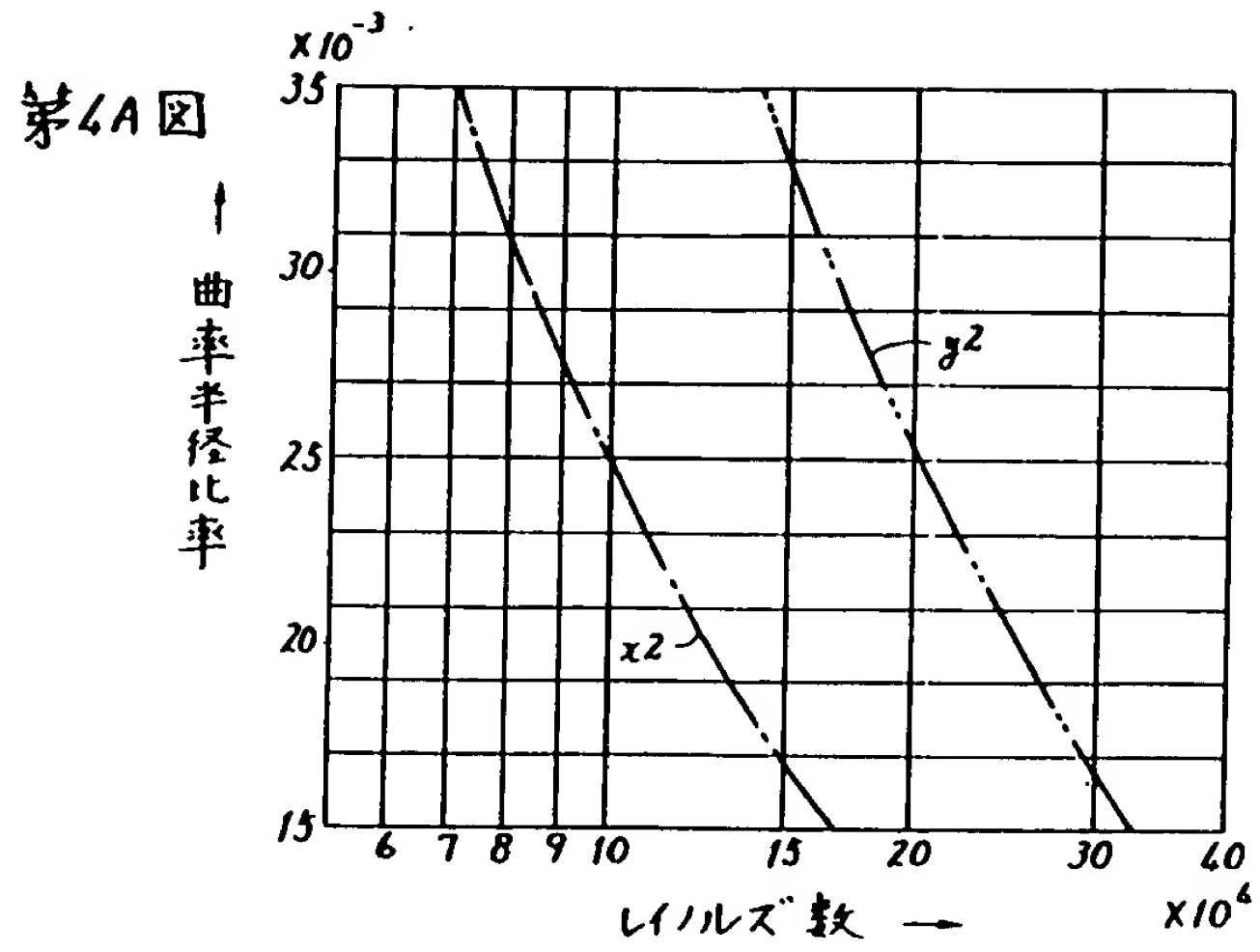


第2B図

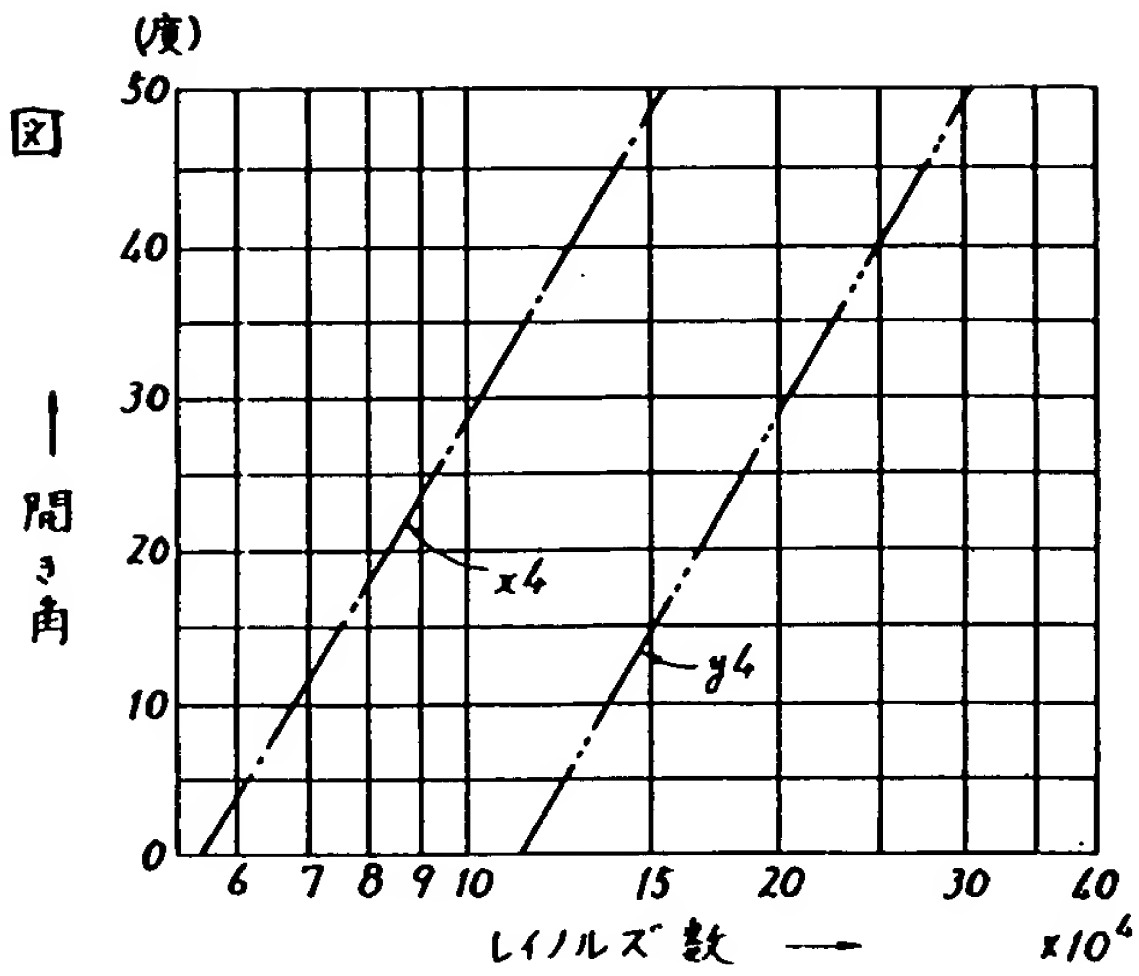


第3図

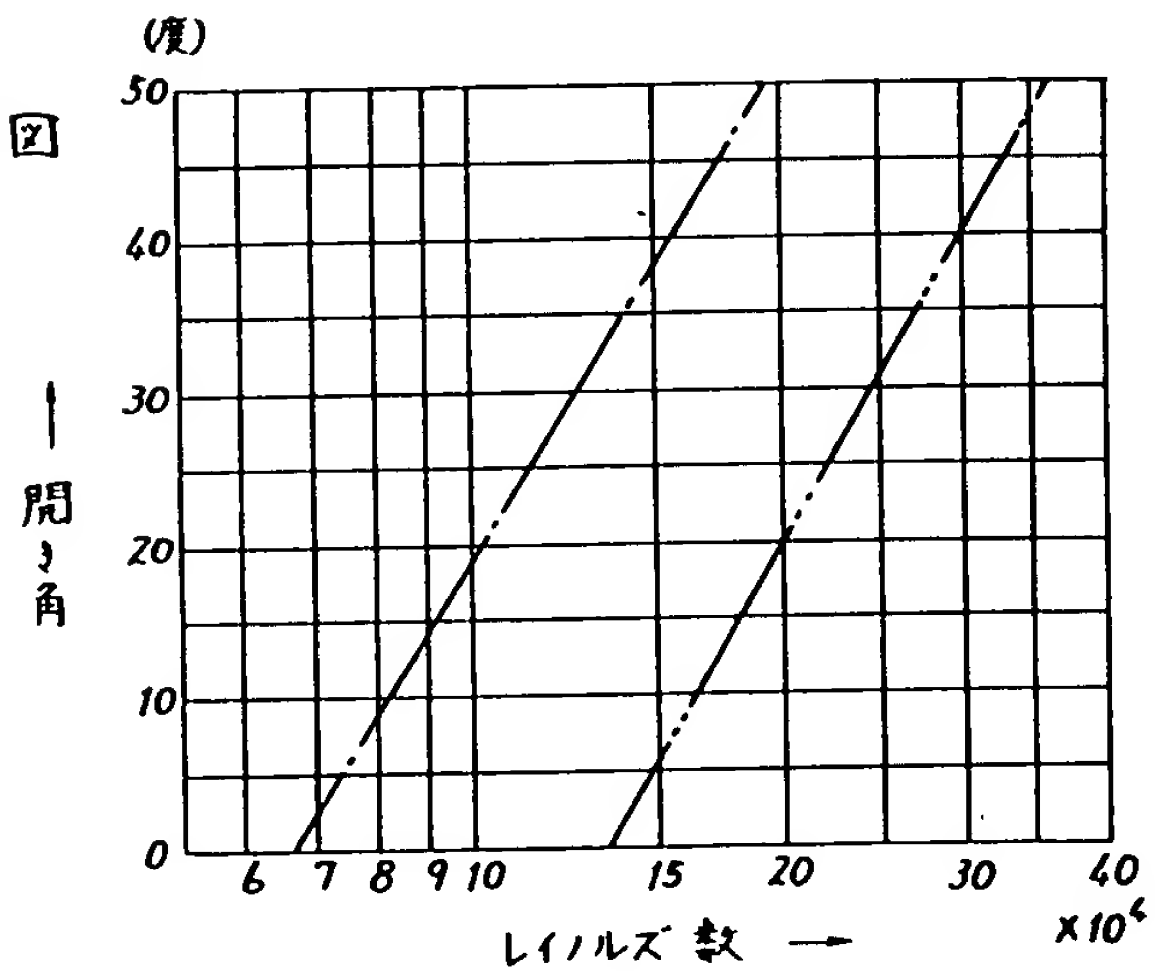




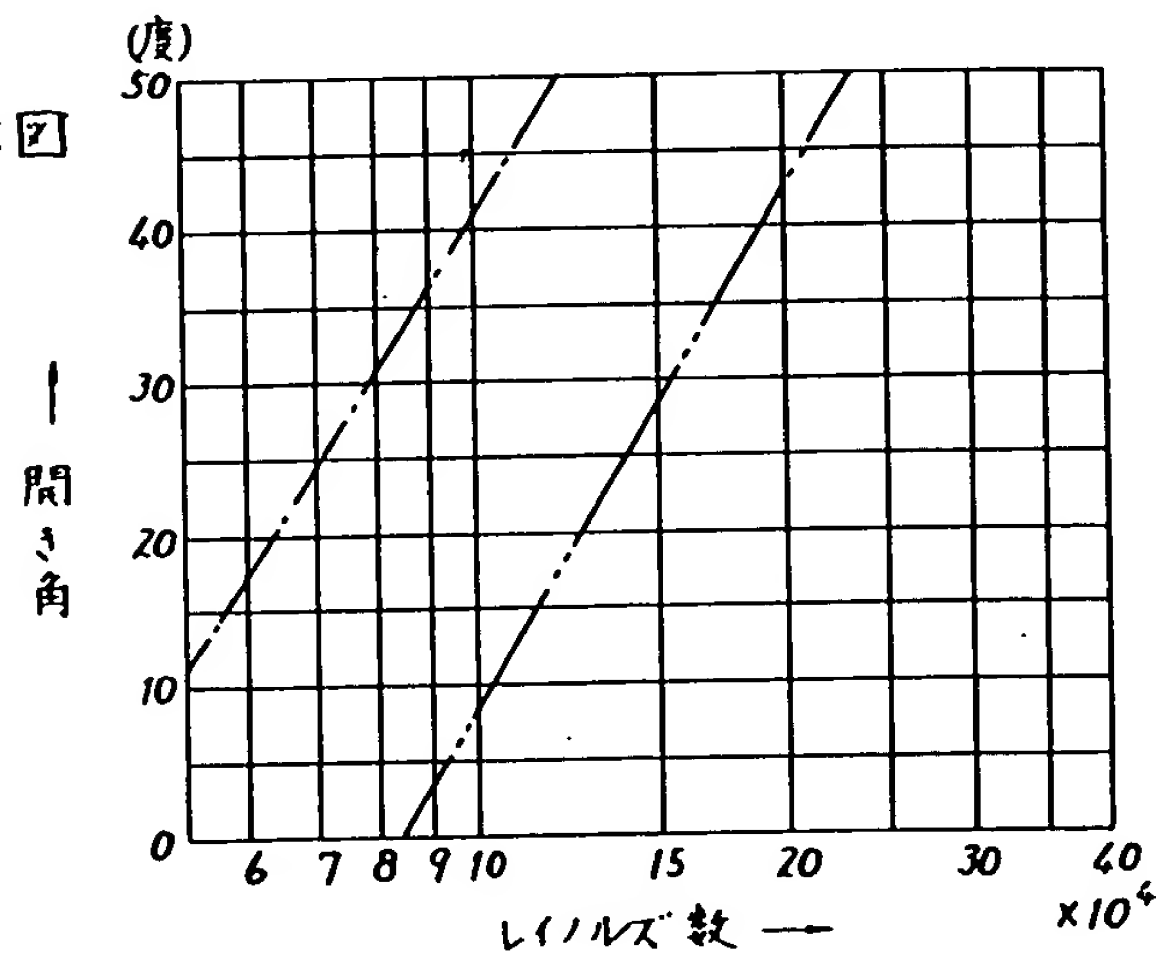
第6A図



第6B図

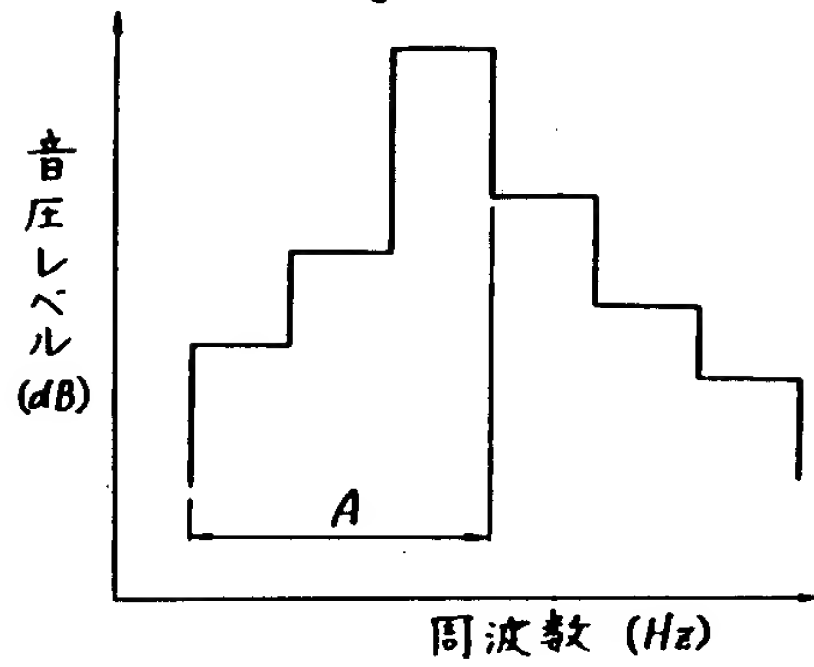


第6C図

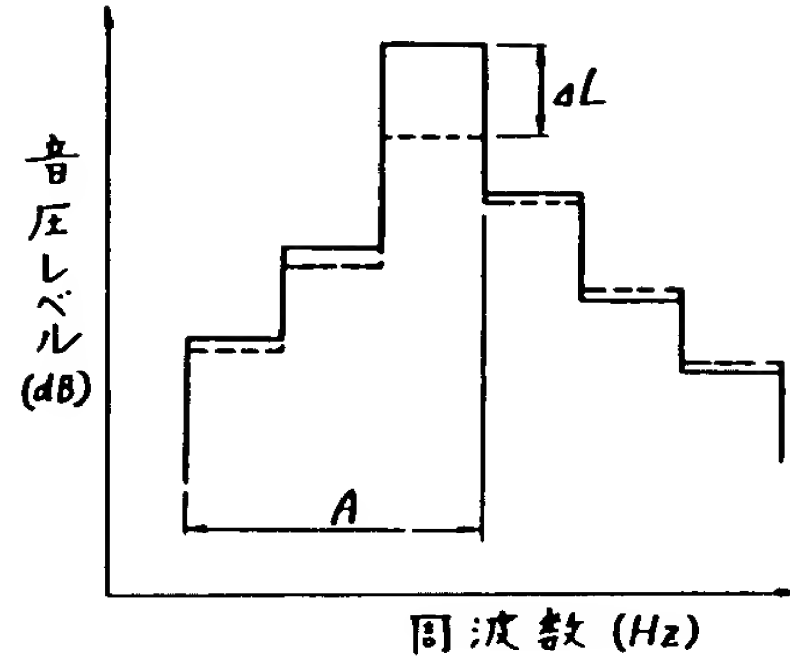




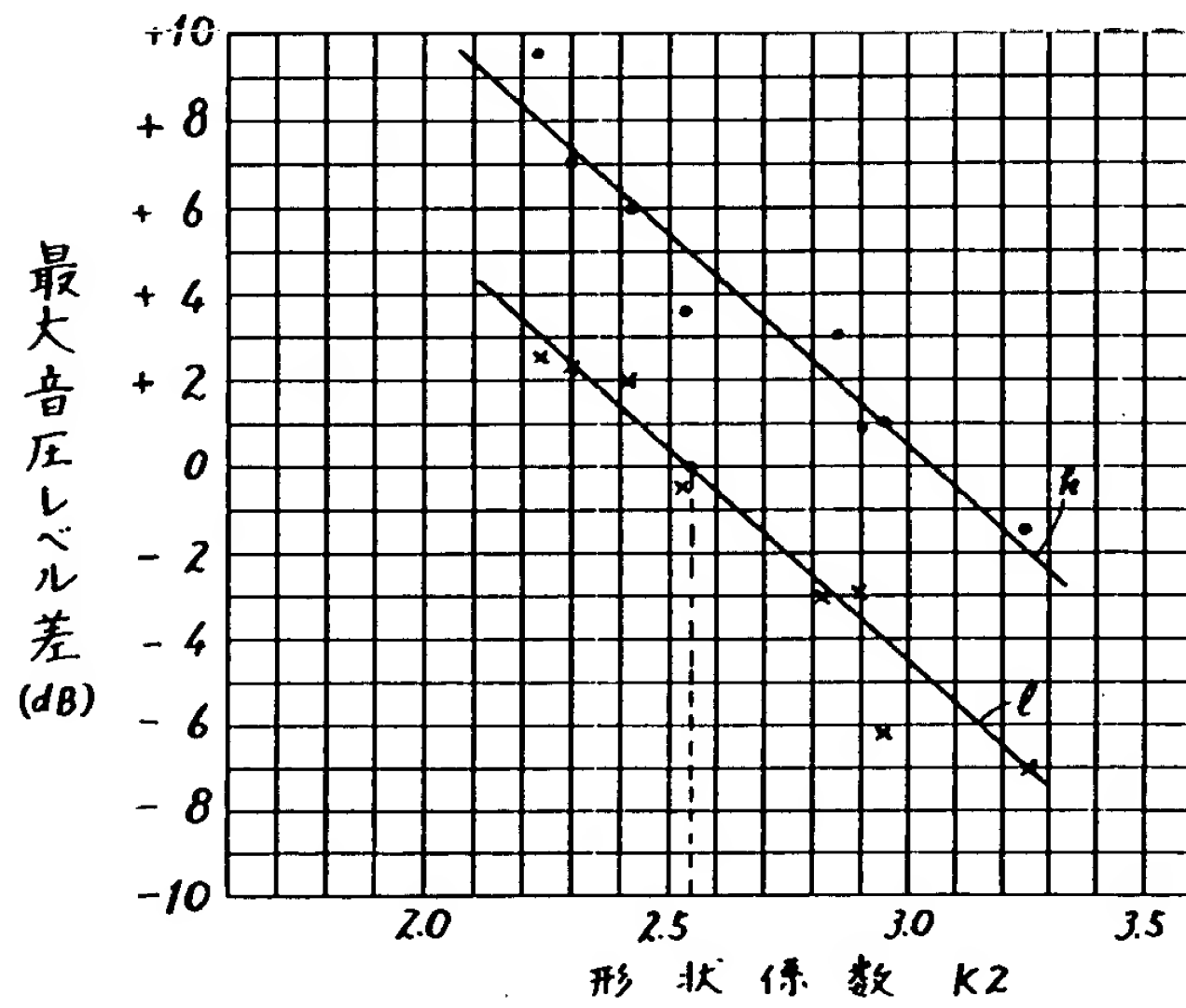
第7図



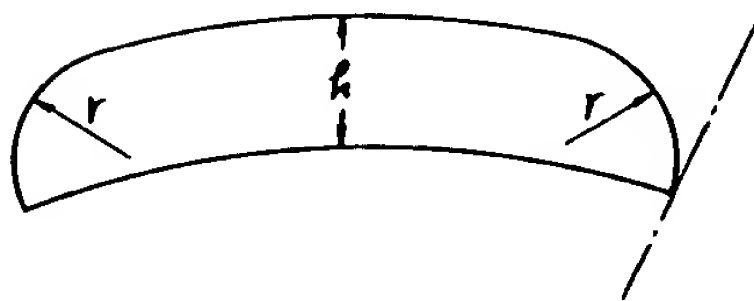
第8図



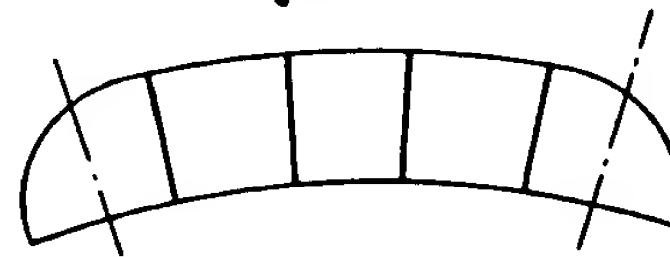
第9図



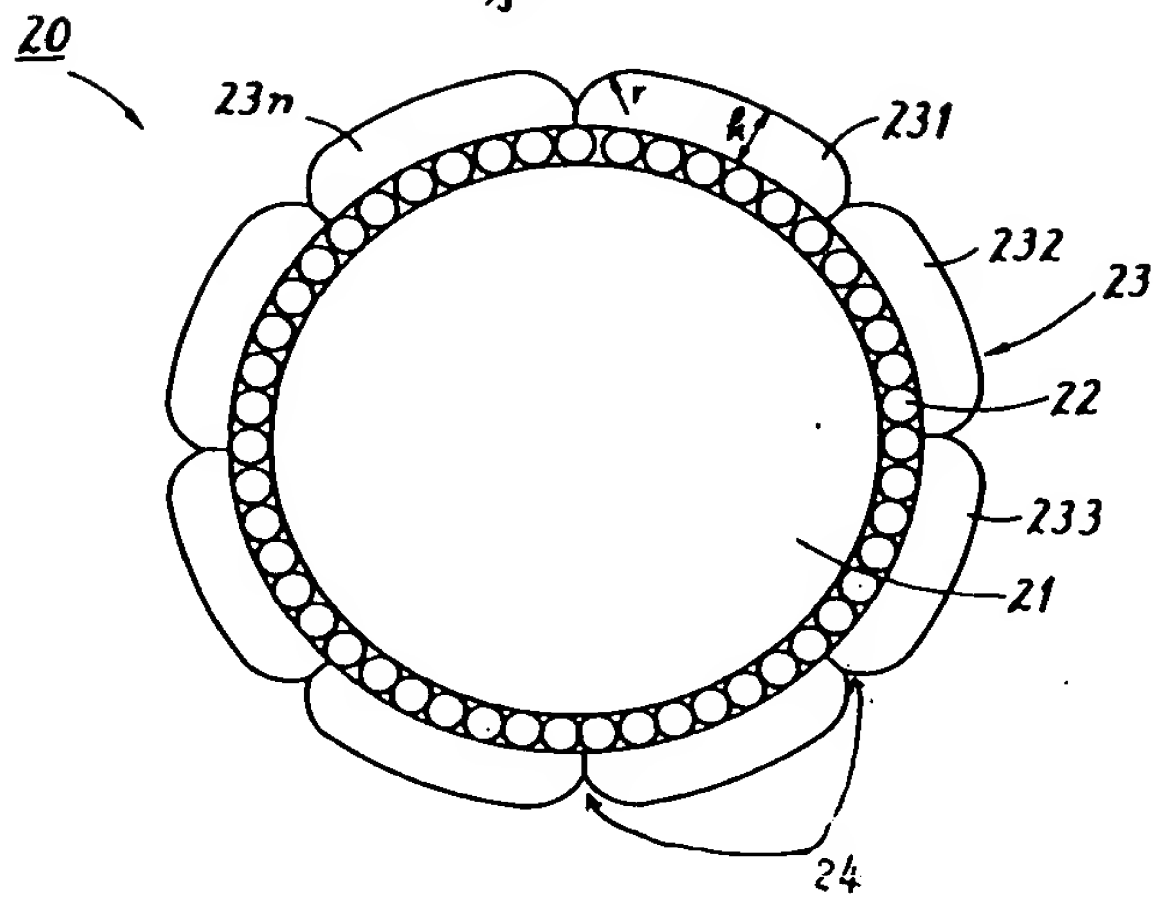
第10A図



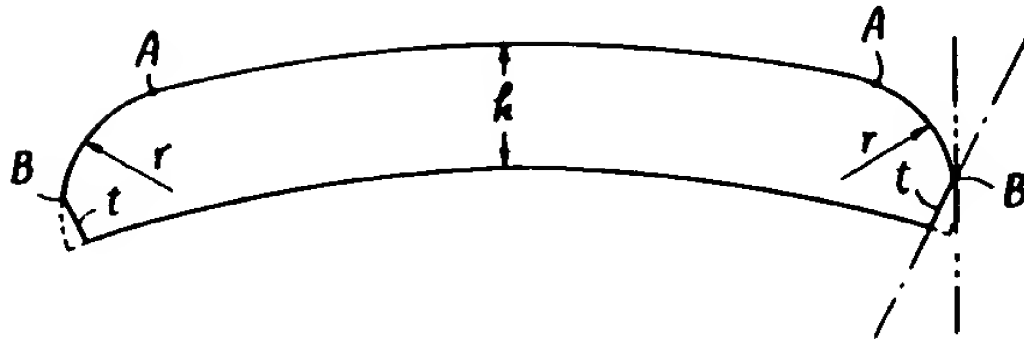
第10B図



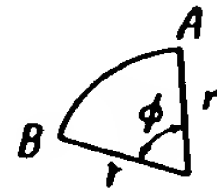
第11A図



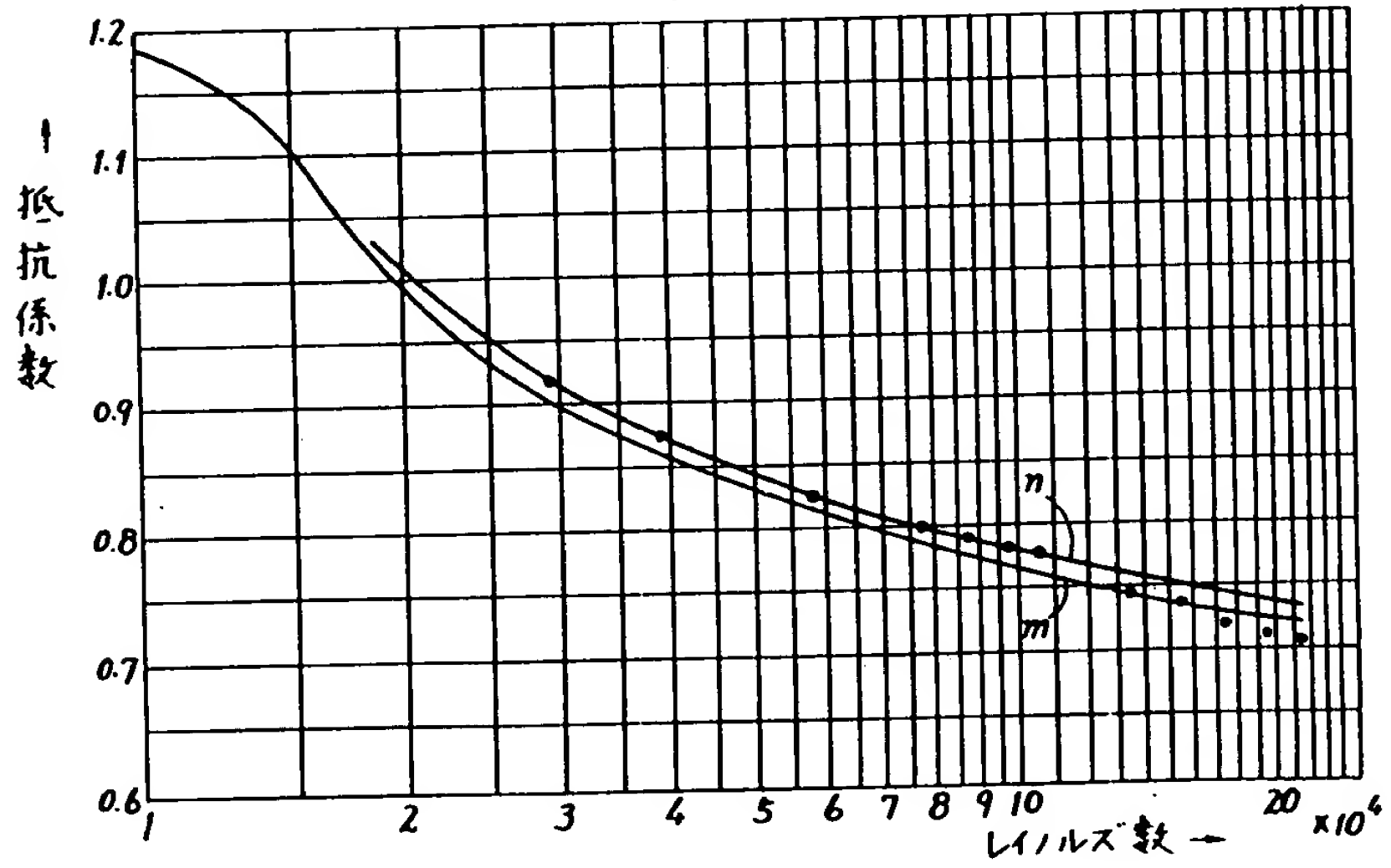
第11B図



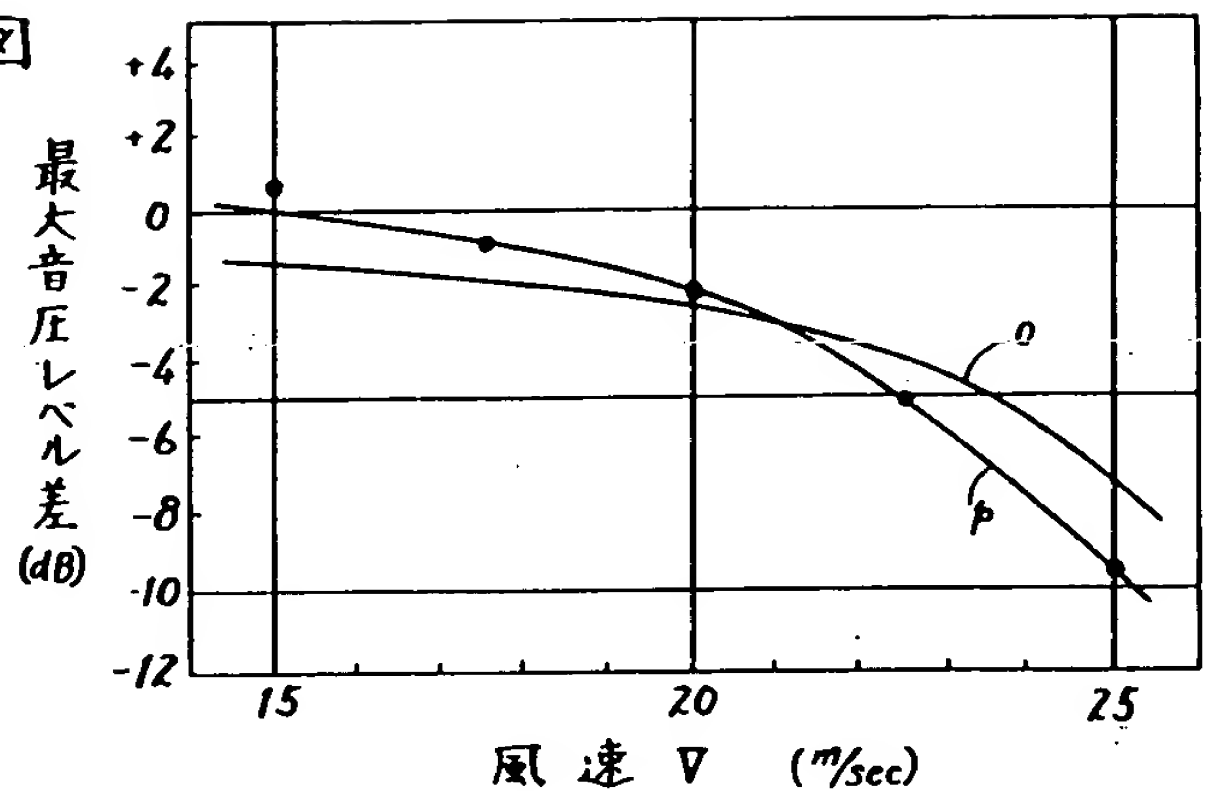
第11C図



第12図



第13図



JAPANESE EXAMINED PATENT PUBLICATION (B2)

(11) Publication number: 57-46166

(43) Date of publication of application:

01.10.1982

5 -----

(51) Int.Cl.

H01B 5/08

-----  
(21) Application number:

(71) Applicant:

10 55-151105

KANSAI ELECTRIC POWER

CO., INC. K.K.

(22) Date of filing:

(72) Inventor:

27.10.1980

SADAO SAKABE

-----  
15 (54) [TITLE OF THE INVENTION] POWER TRANSMISSION LINE  
[CLAIMS]

1. A power transmission line characterized in that:  
an outermost layer of the line is comprised of a  
layer obtained by radially segmenting a conductor which  
20 is ring shaped when seen from a cross-section and which  
has a smooth outer peripheral surface to form a plurality  
of segment conductors and twisting together said  
plurality of segment conductors along a longitudinal  
direction;

25 a plurality of grooves are formed along a

longitudinal direction of the outer periphery of the power transmission line by forming an arc having a radius of curvature  $\underline{r}$  (m) at the outside corners of two adjoining segment conductors for every predetermined number of said plurality of segment conductors;

said segment conductors formed with said arcs are formed with abutting parts at the two ends and are selected so that a tangent of said arc at a point of intersection between said arc and said abutting part does not pass through the center of said line; and

said arcs formed on said segment conductors are selected to be equal to or greater than  $75/360$  of a peripheral length drawn by the same radius as the radius of curvature  $\underline{r}$  (m) of said arc.

2. A power transmission line according to claim 1, characterized in that said radius of curvature  $\underline{r}$  (m) is selected to give the relationship:

$$r = \frac{0.0508}{V} \left( 10^{\frac{\theta - 28.5}{113}} - 10^{\frac{\theta + 5.2}{113}} \right),$$

where the wind speed is  $\underline{V}$  (m/sec) and an angle with a center of adjacent grooves is  $\theta$  (degrees).

3. A power transmission line according to claim 1, characterized in that a relation among an arc of said radius of curvature  $\underline{r}$  (m), a diameter  $\underline{D}$  (m) of said line, and an angle  $\theta$  (degree) with a center of adjacent grooves



is selected to become

$$10 \cdot \frac{r}{D} + \log \theta > 2.55$$

[DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION]

This invention relates to a power transmission line,  
5 more particularly relates to a low wind pressure or a low  
wind noise power transmission line.

As is well known, a power transmission line is  
comprised of high tensile strength circular cross-section  
strands of aluminum, copper, etc. twisted together around  
10 an outer periphery of a copper core in a longitudinal  
direction. Here, when the wind hits the power  
transmission line, air resistance arises and the load  
applied to the power transmission line changes in  
response to the resistance. Therefore, it is preferable  
15 to reduce a drag coefficient of the wind receiving  
surface. Below, the reason will be explained with  
reference to the drawings.

FIG. 1 is a view of the relation between the  
Reynolds number  $R$  and drag coefficient  $C_x$  of the wind  
20 receiving surface by types of conventional power  
transmission lines. In the figure, the abscissa indicates  
the Reynolds number  $R$ , while the ordinate indicates the  
drag coefficient  $C_x$  of the wind receiving surface. These  
are shown by one logarithmic scale. Further, in the

figure, the curve a shown by a solid line indicates the characteristic in the case of an outermost layer of 116 mm outside diameter comprised of twisted strands obtained by twisting together 30 strands of 10.6 mm outside diameter, the curve b shown by a broken line indicates the characteristic in the case of an outermost layer of 116 mm outside diameter comprised of twisted strands obtained by twisting together 36 strands of 8.9 mm outside diameter, and the curve c shown by a solid line indicates the characteristic in a case of the same outside diameter, but a pipe shape.

As is well known, the maximum wind pressure P (kg/m<sup>2</sup>) per unit area of a power transmission line is expressed by equation (1) where the air density is  $\rho$  (kg·sec<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>), the drag coefficient of the wind receiving surface is C<sub>x</sub> (no dimensions), and the wind speed is V (m/sec),

$$P = \frac{1}{2} \rho C_x V^2 . \quad \dots\dots\dots (1)$$

This drag coefficient C<sub>x</sub> is determined by the Reynolds number. Here, the Reynolds number R is expressed by equation (2) where the outside diameter of the power transmission line is D (m) and the air kinematic viscosity is v. Note that v is a constant  $1.456 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/sec under standard conditions (usually 15°C and 1 atm

in line design).

$$R = \frac{VD}{\nu} \dots\dots\dots (2)$$

Note that, as shown by the curve a or b in Fig. 1, in the case of twisted strands, the drag coefficient  $C_x$  is large when the Reynolds number  $R$  is small (for example,  $2 \times 10^4$ ) and is smallest when the Reynolds number  $R$  is  $4 \times 10^4$  to  $6 \times 10^4$ . The amount of change of the drag coefficient  $C_x$  becomes small when the Reynolds number  $R$  is over  $6 \times 10^4$ . On the other hand, in a case of using a power transmission line covered over its outer periphery by a pipe or a pipe-shaped power transmission line as shown by the curve c, the drag coefficient is large in the region of a small Reynolds number. As the Reynolds number  $R$  becomes larger, the drag coefficient  $C_x$  rapidly falls. Therefore, ideally, it is desirable to use a power transmission line where the outer peripheral surface of the power transmission line is made a pipe shape to minimize the drag coefficient  $C_x$ . However, to select the Reynolds number  $R$  to minimize the drag coefficient  $C_x$ , the outside diameter of the power transmission line becomes larger than needed the range of the ordinary assumed wind speed and therefore commercialization is difficult.

Therefore, the present inventor previously proposed

a power transmission line reduced in wind pressure in Japanese Patent Application No. 54-147478 (Japanese Examined Patent Publication (Kokoku) No. 56-51444) based on various experiments.

5           FIG. 2A is a view of a overall cross-section of a power transmission line forming the background art of this invention and previously proposed by the present inventor, while FIG. 2B is an enlarged sectional view of a segment conductor. The power transmission line 10 is  
10   comprised of inner layers 11 and 12 and the outermost layer 13. The inner layer 11, while not shown in FIG. 2A, is usually comprised of a layer obtained by twisting together circular cross-section strands such as in the inner layer 12. The outermost layer 13 is comprised of a  
15   plurality of segment conductors 131 to 13n ( $n = 360/\theta$ ) obtained by radially segmenting a conductor having a ring shape seen from its cross-section and having a smooth outer peripheral surface. The "segment conductor" spoken of here is also called a "segment strand". These  
20   plurality of segment conductors 131 to 13n, as shown in FIG. 2B, have the two edges of the outer peripheral sides of their segmented surfaces formed as arc shapes having a radius of curvature  $r$  (m). Then, by aligning the segment conductors 131 to 13n on the outer periphery of the inner  
25   layer 12 in ring shape and twisting them together in the

longitudinal direction, the power transmission line 10 is formed. Due to this, a plurality of grooves 14 are formed on the outer peripheral surface of the power transmission line 10. The shape of the grooves 14 is selected to be a shape where facing ends of two arcs having a radius of curvature  $\underline{r}$  (m) are made to abut against each other at the segmenting surfaces of the segment conductors and the other ends of the arcs are made to extend in the outer peripheral directions of the segment conductors away from the segmenting surfaces, i.e., a trumpet shape. The angle between adjacent grooves with respect to the center (below called the opening angle) is expressed by  $\theta$ .

FIG. 3 is a graph showing a relation between the Reynolds number  $\underline{R}$  and the drag coefficient  $C_x$  in experiments using samples made in a case using the power transmission line 10 shown in FIG. 2A and using a constant opening angle  $\theta$  of the grooves, but changing the ratio between the diameter  $\underline{D}$  (m) and the radius of curvature  $\underline{r}$  (m). In the figure, the abscissa indicates the Reynolds number  $\underline{R}$  by a logarithmic scale, while the ordinate indicates the drag coefficient  $C_x$ . The characteristic curves (below "curves")  $\underline{d}$ ,  $\underline{e}$ , and  $\underline{f}$  shown by solid lines indicate the results of experiments for each sample changed in ratio of radius of curvature  $r/D$  while making the opening angle  $\theta$  of the groove constant



( $\theta=12^\circ$ ). Here, curve d indicates a case where the ratio of the radius of curvature  $r/D = 17.4/1000$ , the curve e indicates a case where  $r/D = 29.1/1000$ , and curve f indicates a case when  $r/D = 34.9/1000$ . Note that,

5 usually, when calculating a wind pressure of the power transmission line, in consideration of the change of the wind speed, a region is used where the rate of change of the drag coefficient  $C_x$  is smaller than the change of the Reynolds number  $R$ . Therefore, when choosing a range of

10 use of the curves d, e, and f different in ratio of radius of curvature obtained by experiments, it is determined as follows. That is, the one-dot chain line  $x_1$  connecting the points of the minimum drag coefficients  $C_x$  of the curves d, e, and f is selected as a region of the

15 minimum value of the Reynolds number  $R$ . On the other hand, the maximum value of the Reynolds number is selected, as well known by line designers, in a range of the Reynolds number two times the minimum value of the Reynolds number. It is selected to be in a range of two

20 times in consideration of the fact that the actual wind speed changes above and below the design wind speed.

Therefore, the Reynolds number used in design is selected from a range between the region of the minimum value shown by the one-dot chain line  $x_1$  and the region of the

25 maximum value shown by a two-dot chain line  $y_1$ . That is,

the Reynolds number  $R$  is selected, in the case of the opening angle  $\theta=12^\circ$ , in a range about  $7.1$  to  $28 \times 10^4$  in the range of the ratio of radius of curvature  $r/D = 17.5/1000$  to  $34.9/1000$ .

5       Next, the drag coefficient  $C_x$  of the power transmission line forming the background art of the present invention shown in FIG. 2A and the conventional power transmission line shown in FIG. 1 will be compared and studied. For example, in a range of the Reynolds  
10       number  $R = 7.5$  to  $20 \times 10^4$ , the drag coefficient  $C_x$  of the power transmission line 10 constructed as shown in FIG. 2A is  $C_x = 0.4$  to  $0.6$ , while the drag coefficient  $C_x = 0.9$  to  $0.95$  in the conventional power transmission  
15       line. Therefore, it is understood that this power transmission line 10 can reduce the drag coefficient  $C_x$  by exactly  $0.3$  to  $0.55$  in the range of the Reynolds  
20       number  $R = 7.5$  to  $20 \times 10^4$  in comparison with the conventional art. In this way, due to the fact that the drag coefficient  $C_x$  can be lowered, it is seen that the wind pressure to the power transmission line can be  
25       reduced in relation to a rate of reduction of the drag coefficient  $C_x$  and an effect of lowering the wind pressure effect is obtained.

      The power transmission line reduced in wind pressure  
25       as stated above can be quantitatively expressed using a

certain stress concentration factor by appropriately selecting a relationship between the ratio of radius of curvature  $r/D$  and the opening angle  $\theta$  from various experiments. Therefore, below, an attempt is made to study how to express a low wind pressure type power transmission line quantitatively in relation to the shape concentration factor.

FIG. 4A is a graph replacing the minimum value shown by the one-dot chain line  $x1$  and the maximum value shown by the two-dot chain line  $y1$  in FIG. 3 with the relationship between the Reynolds number  $R$  and the ratio of radius of curvature  $r/D$ . In FIG. 4A, the Reynolds number  $R$  is indicated by the abscissa by a logarithmic scale, while the drag coefficient  $C_x$  is indicated by the ordinate. The one-dot chain line  $x2$  shown in FIG. 4A is a line obtained by plotting on FIG. 4A the ratio of radius of curvature  $r/D$  with the minimum value of the Reynolds number  $R$  for each sample shown by the one-dot chain line  $x1$  in FIG. 3 and connecting the points. Further, the two-dot chain line  $y2$  is a line obtained by plotting on FIG. 4A the ratio of the radius of curvature  $r/D$  with the maximum value of the Reynolds number  $R$  in each sample shown by the two-dot chain line  $y1$  in FIG. 3 and connecting the points.

Similarly, the present inventor produced trial

samples different in the opening angle  $\rho$ , changed in the ratio of radius of curvature  $r/D$  for each same opening angle  $\theta$ , and investigated the relation between the Reynolds number  $R$  and the ratio of radius of curvature  $r/D$  based on the experimental values. As a result, it was learned that the same inclination as the one-dot chain line x2 indicating the region of the minimum value of the Reynolds number shown in FIG. 4A is shown and only the value in the abscissa direction changes. As an example, the measured values in a case of  $\theta=45^\circ$  are shown in FIG. 4B. From this, it is seen that if the inclination of the one-dot chain line x2 shown in FIG. 4A is found, the relationship between the ratio of radius of curvature  $r/D$  and the Reynolds number  $R$  is expressed by a constant function.

Therefore, the present inventor tried to find the function and learned that it can be expressed by  $r/D = K1/R$  ( $K1=\text{constant}$ ), where the constant  $K1$  is expressed by the product of the ratio of radius of curvature  $r/D$  and the Reynolds number  $R$ . Further, for example, in a case where  $\theta=12^\circ$ , if observing the curves d, e, and f of the samples for each ratio of radius of curvature  $r/D$  in FIG. 3, the Reynolds number  $R$  is  $14.4 \times 10^4$  when  $r/D = 17.4/1000$ , the Reynolds number  $R$  is  $8.6 \times 10^4$  when  $r/D = 29.1/1000$ , and the Reynolds number  $R$  is  $7.2 \times 10^4$  when

$r/D = 34.9/1000$ , so  $K1 = 2500$  is obtained. Thus, the general equation of the curve shown by the one-dot chain line  $x2$  in FIG. 4A is expressed by  $r/D = 2500/R$ .

Similarly, the constant  $K1$  of the maximum value shown by the two-dot chain line  $y1$  in FIG. 3 becomes  $K1 = 5000$ . Thus, the general equation of the curve shown by the two-dot chain line  $y2$  in FIG. 4A becomes  $r/D = 5000/R$ . From this, in the case of the opening angle  $\theta=12^\circ$ , it was seen that the ratio of radius of curvature should be selected so that the relation between the ratio of radius of curvature  $r/D$  and the Reynolds number  $R$  becomes in a range of  $r/D = 2500/R$  to  $5000/R$ .

FIG. 5 is a graph showing the relation between the Reynolds number  $R$  and the drag coefficient  $Cx$  in a case of making the ratio of radius of curvature  $r/D$  constant ( $r/D = 34.9/1000$ ) and changing the opening angle  $\theta$  in the power transmission line of FIG. 2A. In the figure, the curve  $g$  indicates a case where  $\theta=12^\circ$ , curve  $h$  indicates a case where  $\theta=24^\circ$ , curve  $i$  indicates a case where  $\theta=36^\circ$ , and curve  $j$  indicates a case where  $\theta=45^\circ$ . The line connecting the minimum values of the drag coefficient of the different samples in this case is shown by the one-dot chain line  $x3$ . Further, the line connecting the maximum values of the different samples when selecting 2 times the minimum Reynolds number  $R$  as the maximum value



is shown by the two-dot chain line  $y_3$ .

FIG. 6A is a graph substituting the minimum value shown by the one-dot chain line  $x_3$  in FIG. 5 and the maximum value shown by the two-dot chain line  $y_3$  with the relationship between the Reynolds number  $R$  and the opening angle  $\theta$ . In FIG. 6A, the range which can be effectively used is between  $x_4$  and  $y_4$ . Note that various experiments were conducted using samples changed in the ratio of radius of curvature  $r/D$ . From these experiments, it is seen that even when changing the ratio of radius of curvature  $r/D$ , the relationships between the Reynolds number  $R$  and the opening angle  $\theta$  are all expressed by straight lines and have the same inclination.

The measured values in a case where  $r/D = 29.1/1000$  are shown in FIG. 6B, while the measured values in a case where  $r/D = 45.5/1000$  are shown in FIG. 6C as examples.

For example, if finding the relationship between the opening angle  $\theta$  and the Reynolds number  $R$  from the inclination of the one-dot chain line  $x_4$  in FIG. 6A, the function of the opening angle  $\theta$  when choosing the minimum Reynolds number  $R$  in FIG. 5 is expressed by  $\theta = 113 \log R \times 10^{-5} + 28.5$ . Further, if finding the relationship between the opening angle  $\theta$  and the Reynolds number  $R$  from an inclination of the two-dot chain line  $y_4$ , the function of the opening angle  $\theta$  when choosing the maximum

Reynolds number  $R$  in FIG. 5 is expressed by  $\theta = 113 \log R \times 10^{-5} - 5.2$ .

From the above explanation and characteristic graphs, the range in which the power transmission line of the present invention is applicable can be calculated by equations as follows.

First, the range of the most suitable Reynolds number  $R$  when the opening angle is a constant  $\theta = 12^\circ$  and changing the ratio of radius of curvature ( $r/D$ ) is expressed by equation (3) as explained with reference to FIG. 4A:

$$\frac{r}{D} = \frac{2500}{R} \sim \frac{5000}{R} \dots\dots\dots (3)$$

From equation (3), the radius of curvature  $r$  may be expressed by equation (4),

$$r = \frac{D}{R} (2500 \sim 5000) \dots\dots\dots (4)$$

Entering  $R = VD/\gamma$  into equation (4), the radius of curvature  $r$  is expressed by equation (5):

$$r = (2500 \sim 5000) \frac{1.456 \times 10^{-5}}{V} = \frac{0.0364 \sim 0.0728}{V} \dots\dots\dots (5)$$

From the above equation (5), it is seen that the radius of curvature  $r$  can be determined by just the design wind speed.

On the other hand, the most suitable relationship between  $\theta$  and the Reynolds number  $R$  when the ratio of

radius of curvature  $r/D$  ( $= 34.9/1000$ ) is constant and changing the opening angle  $\theta$  is expressed by equation (6) as explained with reference to FIG. 5:

$$\theta = 113 \log R \times 10^{-5} + (28.5 \text{ to } -5.2) \quad (6)$$

5 From equation (6), the relation of the Reynolds number  $R$  may be expressed by equation (7):

$$R = 10^{\frac{0-(28.5 \sim -5.2)}{113}} \times 10^5 \quad (7)$$

Based on the above equations (5) and (7), the most suitable condition of the ratio of radius of curvature and the opening angle  $\theta$  may be calculated as follows. That is, the ratio of radius of curvature  $r/D$  when the opening angle  $\theta$  is constant, as clear from equation (3), is inversely proportional to the Reynolds number  $R$ . Thus, if the factor of proportionality is  $K_1$ , the ratio of  
10 radius of curvature  $r/D$  may be expressed as equation (8):  
15

$$\frac{r}{D} = \frac{K_1}{R} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Next, the factor of proportionality  $K_1$  can be obtained from the actually measured results when the ratio of radius of curvature  $r/D$  is  $34.9/1000$  by entering  
20  $R$  of equation (7) into equation (8):

$$K_1 = \frac{34.9}{1000} R = 34.9 \times 10^{-3} \times 10^{\frac{0-(28.5 \sim -5.2)}{113}} \times 10^5 \quad (9)$$

Therefore, when the opening angle  $\theta$  is given, the most suitable radius of curvature  $r$  becomes the following

range when the design wind speed is  $V$ :

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{DKI}{R} \\
 &= \frac{KIv}{V} \\
 &= 3490(10^{\frac{0-28.5}{113}} \sim 10^{\frac{0+5.2}{113}}) \times \frac{1.456 \times 10^{-5}}{V} \dots\dots\dots (10) \\
 &= \frac{0.0508}{V} (10^{\frac{0-28.5}{113}} \sim 10^{\frac{0+5.2}{113}}),
 \end{aligned}$$

5 where

$$R = \frac{DV}{v}.$$

Thus, for selecting the radius of curvature  $r$  expressed by equation (10), it is possible to learn the range of the most suitable radius of curvature  $r$  if the value of the design wind speed and the opening angle  $\theta$  are determined.

Therefore, it is seen that by forming a plurality of grooves by the abutment of two arcs having a radius of curvature  $r$  satisfying the above equation (10) along a longitudinal direction of the outer periphery of the power transmission line, a power transmission line reduced in wind pressure can be realized.

Note that when wind of a speed of about 10 m/sec or more strikes a power transmission line, a Karman vortex occurs on the surface of a usual ACSR (steel-reinforced

aluminum cable) etc. and produces wind noise called "eloss" (phonetic) resembling a groan. Such wind noise is unpleasant to inhabitants around the power transmission line, so it is necessary to attenuate it.

5        FIG. 7 is a characteristic graph measuring the sound pressure level (dB) for different bands of frequency (Hz) of wind noise produced from a conventional power transmission line. In this measurement example, the sound pressure level is measured by evaluating it for 10  
10    seconds for every  $1/3$  octave obtained by equally dividing into three the 1 octave width A from the frequency band having the maximum sound pressure level. The wind noise becomes more unpleasant the greater the sound pressure level. The sound pressure level was extremely high in the  
15    conventional power transmission line. Especially, the wind noise in the maximum sound pressure level frequency band is very unpleasant.

      The present inventor proposed not only a low wind pressure power transmission line but also a low wind  
20    noise power transmission line using a power transmission line having the structure shown in FIG. 2A in Japanese Patent Application No. 55-129605 (Japanese Unexamined Patent Publication (Kokai) No. 57-53005). Therefore, an explanation will be made of the low wind noise power  
25    transmission line proposed by the present inventor.

The idea to try to realize a low wind noise power transmission line using the power transmission line 10 shown in FIG. 2A was arrived at as a result of analyzing the state of formation of the Karman vortex occurring in a conventional power transmission line having an outermost layer comprised of a layer of circular cross-section strands twisted together and a power transmission line having an outermost layer comprised of a smooth surface pipe. Note that to find the most suitable shape of said power transmission line 10, experiments were carried out on the relation between the radius of curvature  $r$  (m), the diameter (or the outside diameter)  $D$  (m) of the line, the opening angle  $\theta$  (degree) of the groove 14, and the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  (dB). Here, the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  (dB) means the difference from the maximum sound pressure level of the power transmission line 10 shown in FIG. 2A having the same diameter when using the maximum sound pressure level of a conventional power transmission line having an outermost layer comprised of a layer of circular strands twisted together as a reference.

These experiments were carried out using a 80 cm x 80 cm low noise wind tunnel and placing the power transmission line 10 at a position 50 cm from the



opening. The experiments were carried out for two types of wind speed of 15 m/sec and 25 m/sec. The reason is that at a wind speed under 15 m/sec, the wind noise of a power transmission line does not become much of a  
5 problem, while at a wind speed over 35 m/sec, the noise of the surroundings due to the wind speed becomes larger than the wind noise due to the power transmission line. The maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  (dB) for different wind speeds when comparing actual measured  
10 results when suitably changing the radius of curvature  $r$  (m), the outside diameter  $D$  (m), and the opening angle  $\theta$  (degree) of the grooves of the power transmission line 10 shown in FIG. 2A with actual measured results when using the same line having solid line diameter  $D$  (m) under  
15 these conditions is shown in Table 1.

Table 1

Structure of line			Maximum sound pressure level difference $\Delta L$ (dB)		
Diameter D ( $\times 10^{-3}$ m)	Opening angle $\theta$ (degree)	Radius of curvature r ( $\times 10^{-3}$ m)	Wind speed 15 m/sec	Wind speed 25 m/sec	
5	38.4	36	2.9	+7.0	-2.5
	38.4	45	2.3	+9.5	+2.5
	38.4	45	3.0	+6.0	+2.0
	38.4	45	4.6	+3.0	-3.0
	38.4	60	4.5	+1.0	-6.5
10	52.8	60	4.0	+3.5	-6.5
	38.4	90	5.0	-1.5	-7.0
	52.8	90	5.0	+1.0	-3.0

Table 2

Structure of line			Maximum sound pressure level difference $\Delta L$ (dB)		Stress concentration factor K2	
Diameter D ( $\times 10^{-3}$ m)	Opening angle $\theta$ (degree)	Radius of curvature r ( $\times 10^{-3}$ m)	Wind speed 15 m/sec	Wind speed 25 m/sec		
15	38.4	36	2.9	+7.0	-2.5	2.32
	38.4	45	2.3	+9.5	+2.5	2.25
	38.4	45	3.0	+6.0	+2.0	2.43
	38.4	45	4.6	+3.0	-3.0	2.85
	38.4	60	4.5	+1.0	-6.5	2.95
20	52.8	60	4.0	+3.5	-6.5	2.53
	38.4	90	5.0	-1.5	-7.0	3.25
25	52.8	90	5.0	+1.0	-3.0	2.90

FIG. 8 is a characteristic graph measuring the sound pressure level for different bands of frequency of the wind noise from the conventional power transmission line and the power transmission line 10 shown in FIG. 2A. Note  
5 that solid line shows a case of the conventional power transmission line, while the dotted line shows the sound pressure level of the power transmission line 10 shown in FIG. 2A. Here, the difference between the sound pressure level of the conventional power transmission line and the  
10 sound pressure level of this power transmission line 10 at the frequency band of the maximum sound pressure level, that is, the maximum sound pressure level difference, is shown by  $\Delta L$ .

In Table 1, when the maximum sound pressure level  
15 difference  $\Delta L$  (dB) is negative (-), it means that the maximum sound pressure level is lower in this power transmission line 10 than in the conventional power transmission line for the same diameter. As a result of study of Table 1, it can be considered that the diameter  
20  $\underline{D}$  (m) and the radius of curvature  $\underline{r}$  (m) of the line are correlated with the attenuation of wind noise. That is, the ratio of the radius of curvature  $\underline{r}$  (m) and the diameter  $\underline{D}$  (m) of the line, i.e., the ratio of radius of curvature  $r/D$ , is correlated with the maximum sound  
25 pressure level difference  $\Delta L$ . On the other hand, the

change of the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  is slight with respect to the change of the opening angle  $\theta$  (degree) in comparison with the case of the ratio of radius of curvature  $r/D$ , but it cannot be said that there is no relation. Thus, it can be considered that the relation between the opening angle  $\theta$  and the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  can be expressed by the logarithm of the opening angle  $\theta$  (degree) (i.e.,  $\log \theta$ ). Therefore, if the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  is expressed in a relation to the shape of the power transmission line 10, it was seen that the stress concentration factor  $K_2$  of the power transmission line 10 can be expressed by equation (11):

$$K_2 = 10 \cdot \frac{r}{D} + \log \theta . \quad \dots\dots\dots (11)$$

By arranging the data shown in Table 1 in relation to the stress concentration factor, Table 2 and FIG. 9 are obtained.

FIG. 9 is a graph showing the relation between the stress concentration factor  $K_2$  of the power transmission line 10 shown in FIG. 2A and the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  for different wind speeds. In the figure, the solid line  $k$  connecting the dots shows the relation between the stress concentration factor  $K_2$  and the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  at a wind

speed of 15 m/sec, while the solid line 1 connecting the "x's" shows the relation between the stress concentration factor  $K_2$  and the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  at a wind speed of 25 m/sec.

5           From FIG. 9, it was confirmed that the diameter  $D$  (m) of the line and the radius of curvature  $r$  (m) have an effect on the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  by the ratio of radius of curvature  $r/D$ . Further, it was confirmed that the opening angle  $\theta$  (degree) has an effect  
10 on the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  in the form of  $\log \theta$ . In these cases, it was confirmed that the influence of the ratio of radius of curvature  $r/D$  on the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  is greater than the influence of  $\theta$  (or  $\log \theta$ ) and that in a case  
15 where the stress concentration factor  $K_2$  is constant, the higher the wind speed, the lower the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$ . Here, there is an effect of attenuating the wind noise only when the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  is a minus value.

20           Based on the above analysis, considering FIG. 9, it can be understood regarding the stress concentration factor for different wind speeds in a case where the maximum sound pressure level difference is smaller than 0 (i.e., minus), an effect of attenuation of the wind noise  
25 can be exhibited in a range of stress concentration

factor  $K_2 > 3.05$  at a wind speed of 15 m/sec and in a range of stress concentration factor  $K_2 > 2.55$  at a wind speed of 25 m/sec. However, generally, in a region in which the wind speed is low, the value of the maximum sound pressure level itself is lower than the value in a region in which the wind speed is high. In terms of the experiment values, the level is not that much of a problem in practice. Considering the above, it was seen that by selecting the diameter  $D$  (m), the radius of curvature  $r$  (m), and the opening angle  $\theta$  (degree) of the power transmission line 10 so that the stress concentration factor becomes a value by which the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  becomes a minus value at a wind speed of 25 m/sec, that is, the stress concentration factor  $K_2$  becomes a greater value than 2.55, the maximum sound pressure level can be lowered and the wind noise attenuating effect can be exhibited in a relatively high wind speed region in which a wind noise problem occurs.

20        Note that the power transmission line 10 which was previously proposed by the present inventor and had a remarkable effect in lowering the wind pressure and the wind noise encountered a problem in manufacture it that it was difficult to twist together the segment conductors  
25        when the radius of curvature  $r$  became greater than a

certain value because there is a limit on the height  $h$  of the segment conductor in view of strength etc. For example, as shown in FIG. 10A, when the height  $h$  of the segment conductor cannot be made a value greater than the radius of curvature  $r$  of the arc, that is, when  $h \approx r$ , points of intersection between the arcs and an inner peripheral surface of the segment conductor arise at both ends of the segment conductor in the circumferential direction. When twisting together a plurality of such segment conductors in a ring shape, because the two ends of adjacent segment conductors in the circumferential direction are in line contact, one segment conductor rides up over an arc part of the other segment conductor and it becomes difficult to twist them together accurately. Especially, when the opening angle is selected to be a large value, it becomes necessary to divide the segment conductors into a plurality of parts as shown in FIG. 10B in view of strength etc. In such a case, since the segment conductors at the two ends of the circumferential direction formed in an arc are asymmetrical in shape, they become extremely unstable with respect to torsional force and become difficult to twist accurately.

Therefore, a primary object of the present invention is to provide a power transmission line improved so that



when manufacturing the power transmission line by twisting together segment conductors not able to be given a sufficient height  $h$ , the strength is high and twisting is easy and accurate.

5        Another object of the present invention is to provide a power transmission line able to be advantageously used for a low wind pressure or low wind noise power transmission line.

Summarizing the present invention, twisting is  
10       facilitated by omitting parts of the arc formed at the two ends of a segment conductor having a large opening angle and providing abutting parts. When using the power transmission line of the present invention as a low wind pressure power transmission line, the radius of curvature  
15        $r$  is limited to satisfy the condition expressed by equation (10). Further, when using the power transmission line of the present invention as a low wind noise power transmission line,  $K_2$  expressed by equation (11) is selected so that  $K_2$  is greater than 2.55.

20       Below, an explanation will be made of a concrete embodiment of the present invention with reference to the drawings.

FIG. 11A is a sectional view of a power transmission  
line 20 of one embodiment of the present invention, FIG.  
25       11B is an enlarged sectional view of a segment conductor

used for the power transmission line of the present embodiment, and FIG. 11C is a view for explaining the method of selecting an arc of the segment conductor. The power transmission line 20 of the present embodiment is comprised of inner layers 21, 22 and an outermost layer 23. The inner layers 21 and 22 are comprised of circular cross-section strands twisted together into a plurality of layers. The outermost layer 23 which characterizes the present invention is comprised of a plurality of segment conductors, obtained by radially segmenting conductor of a ring shape seen from a cross-section and having a smooth outer peripheral surface into a plurality of segment conductors, twisted together along a longitudinal direction of the power transmission line. These plurality of segment conductors 231 to 23n are formed, as shown in FIG. 11B, so that their edges of the outer periphery of the two ends in the circumferential direction are formed into arcs having a radius of curvature  $\underline{r}$ . This radius of curvature  $\underline{r}$  is a value approximately equal to a height  $\underline{h}$  of the segment conductor. Further, a part of the arc contacting an inner peripheral side of the segment conductor is formed with a notch of the abutting part  $\underline{t}$ . The abutting part  $\underline{t}$  is formed so that its tangent passes through the center of the power transmission line. The tangent of the arc at a point of contact with the

abutting part  $t$  is made not to pass through the center of the power transmission line. The segment conductors 231 to 23n of such shape are formed by, for example, drawing process in a wire-shaped or rod-shaped conductive material of copper or aluminum etc. is heated and drawn through a die having a shape as shown in FIG. 11B. The segment conductors 231 to 23n formed in such a way are arranged in a ring shape on the outer periphery of the inner layer 22 and twisted together along the longitudinal direction. As a result, a plurality of trumpet-shaped grooves 24 each comprised of two arcs of a radius of curvature  $r$  abutting against each other are formed on the outer peripheral surface of the power transmission line 20.

In order to advantageously use the power transmission line 20 shown in FIG. 11A and FIG. 11B as a low wind pressure line or a low wind noise line, the present inventor conducted various experiments changing the radius of curvature  $r$  (m), the opening angle  $\theta$  (degree), the diameter  $D$  (m) of the line, the wind speed  $V$  (m/sec), and the abutting part  $t$  (m) to find the most suitable conditions. As a result, they learned that if the distance of the arc by which said groove 24 is formed is at least  $75/360$  of the overall distance of the circumference drawn by the same radius as the radius of

curvature  $\underline{r}$  of the arc, there is an effect approximately  
equivalent to a case of a complete arc having the same  
radius of curvature  $\underline{r}$ . Here, a "complete arc" means an  
arc drawn, as shown in FIG. 10A, so that the tangent of  
5 the arc at an end of the arc at the center side of the  
power transmission line passes through the center of the  
power transmission line.

Next, an explanation will be made of the relation  
between the arc and the radius of curvature  $\underline{r}$  with  
10 reference to FIG. 11C. When defining the arc of the  
segment conductor as arc(AB) and defining the radius of  
curvature of the arc(AB) as  $\underline{r}$ , the relation between the  
arc and the radius of curvature  $\underline{r}$  is expressed by  
equation (12):

$$\begin{aligned} \widehat{AB} &\geq \frac{75}{360} \times 2\pi r \\ &\geq \frac{5}{12} \pi r. \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (12)$$

15

In other words, it was seen that if the angle  
between arc(AB) is at least  $75^\circ$ , there is an effect  
approximately equivalent to the case when forming a  
groove by a complete arc having the same radius of  
20 curvature  $\underline{r}$  of the segment conductor shown in FIG. 2B or  
FIG. 10A.

Therefore, as making a power transmission line

designed to reduce the wind pressure or reduce the wind noise, which constitutes the background art of the present invention, if the height  $h$  of the segment conductor is limited to  $h \approx r$  by the manufacturing conditions, it is preferable to form the segment conductor as shown in FIG. 11B. That is, in the present invention, by providing the abutting part  $t$  in the range in which the arc forming the groove 24 satisfies the above equation (12), it is possible to realize a power transmission line having the effect of reducing the wind pressure and reducing the wind noise and further having a reliable, stable twisted structure.

The reason why even when providing an abutting part  $t$  less than a certain length in this way, an effect approximately equivalent to the case of a groove formed by complete arc having the same radius of curvature is believed to be as follows. That is, it is because the problems of wind pressure and wind noise are caused mainly by the shape near the entrance of the grooves and there is almost no flow of air at more than a certain depth of the grooves and that even if there is flow, there is almost no effect on the problems of wind pressure and wind noise due to breakaway of the air etc.

Note that, from various experiments, it was confirmed that in an ordinary power transmission line, an

abutting part  $t$  of at least about 1 mm is preferable. Further, the height  $h$  of the segment conductor is preferably not more than about 5 mm in an ordinary power transmission line in view of strength etc.

5        Note that, in the manufacture of an actual power transmission line, it is necessary to determine design values taking into account the difficulty in drawing an accurate arc, the difficulty in manufacturing an intersection between the arc and the abutting part  $t$   
10 accurately, and the difficulty in making adjacent segment conductors accurately abut against each other.

FIG. 12 is a graph showing the wind pressure characteristic in one example of a power transmission line of this embodiment as contrasted with the wind  
15 pressure characteristic of a power transmission line of the same shape as the above power transmission line except not having an abutting part. The power transmission line shown in FIG. 13 is selected to meet the following conditions: That is,

20        Radius of curvature  $r = 5.0 \times 10^{-3}$  m  
         Opening angle             $\theta = 90^\circ$   
         Diameter                 $D = 38.4 \times 10^{-3}$  m  
         Abutting part             $t = 1.2 \times 10^{-3}$  m  
         Height                    $h = 5.0 \times 10^{-3}$  m.

25        Note that, in the graph of FIG. 12, the curve  $m$

indicates a case where the abutting part t is not provided, while the curve n indicates a power transmission line in a case where an abutting part t which characterizes the present invention is provided. As  
5 clear from FIG. 12, even when providing the abutting part as in the present invention, the relationship of the drag coefficient  $C_x$  to the Reynolds number  $R$  becomes approximately equivalent to the case of not providing the abutting part t. Further, in a range where the Reynolds  
10 number  $R = 7.5$  to  $2.0 \times 10^{-4}$ , the drag coefficient  $C_x$  is 0.74 to 0.81, so the drag coefficient  $C_x$  can be reduced by 0.09 to 0.21 in comparison with the 0.9 to 0.95 in the same range in a case of the conventional power transmission line shown in FIG. 1.

15 FIG. 13 is a graph showing results of experiments on the wind noise characteristic of the same power transmission line as the power transmission line with the wind pressure characteristic shown in FIG. 12. In the figure, the curve o indicates a case where the abutting  
20 part is not provided, while the curve p indicates the case where the abutting part t is provided. By studying FIG. 13, it can be understood that a power transmission line selected so as to satisfy the above conditions can be reduced in the maximum sound pressure level difference  
25  $\Delta L$  in comparison with one using conventional circular

cross-section strands.

Note that, the two arcs which form the grooves may also be a second order curve, third order curve, or other curve having a continuously varying radius of curvature or a combination of a plurality of arcs (including the above curves) so long as it has a radius of curvature  $r$  satisfying equation (10) when the object is to attenuate the wind pressure or a radius of curvature  $r$  by which  $K_2$  expressed by equation (11) becomes at least 2.55 when the object is to attenuate the wind noise.

As stated above, according to the present invention, when manufacturing a power transmission line having an outermost layer formed by twisting together a plurality of segment conductors, even when a sufficient height of the segment conductor cannot be taken, there are the characteristic effects that it is easy to twist together the segment conductors accurately, manufacture becomes easy, and so on. According to this, it is also possible to reduce the manufacturing costs of a power transmission line.

The present invention is used advantageously for manufacturing a low wind pressure line or low wind noise line.

[BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS]

FIG. 1 is a graph showing a relation between a



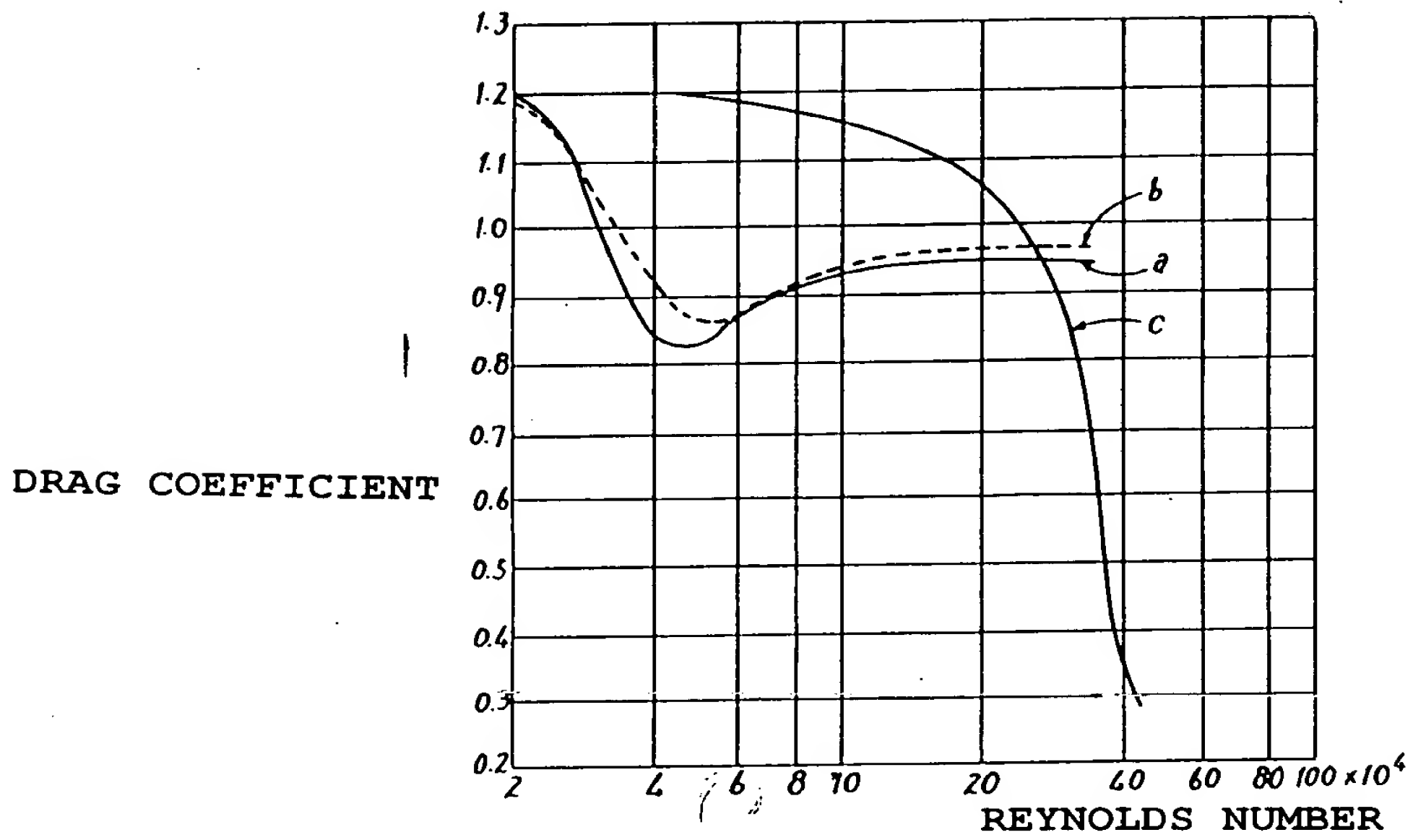
Reynolds number  $R$  and drag coefficient  $C_x$  of different types of conventional power transmission lines. FIG. 2A is an illustration showing a cross-section of a power transmission line reduced in wind pressure and/or reduced in wind noise, and FIG. 2B shows an enlarged sectional view of a segment conductor of the power transmission line. FIG. 3 shows actual measured values of different types of power transmission lines having different ratios of radius of curvature ( $r/D$ ) in a case where an opening angle  $\theta$  is a constant  $12^\circ$  in the power transmission line in FIG. 2A, where the ordinate indicates the drag coefficient and the abscissa indicates the Reynolds number. FIG. 4A is a graph showing the minimum value shown by a one-dot chain line  $x_1$  and the maximum value shown by a two-dot chain line  $y_1$  in FIG. 3 by the relation between the Reynolds number and the ratio of radius of curvature. FIG. 4B is the same type of graph as FIG. 4A in a case where  $\theta = 45^\circ$ . FIG. 5 shows the actual measured values for different types of power transmission lines having different opening angles in a case where  $r/D = \text{constant } 34.9/1000$  in the power transmission line in FIG. 2A, wherein the ordinate indicates the drag coefficient and the abscissa indicates the Reynolds number. FIG. 6A is a graph showing the minimum value shown by a one-dot chain line  $x_3$  and the maximum value

shown by a two-dot chain line y3 by the relation between the Reynolds number  $R$  and the opening angle  $\theta$ . FIG. 6B and FIG. 6C are the same types of graphs as FIG. 6A in cases where  $r/D = 29.1/1000$  and  $r/D = 45.5/1000$ ,  
5 respectively. FIG. 7 is a characteristic graph measuring a sound pressure level for different bands of frequency of wind noise produced from a conventional power transmission line. FIG. 8 is a characteristic graph measuring the sound pressure levels for different bands  
10 of frequency of the wind noise produced from the conventional power transmission line and the power transmission line 10 shown in FIG. 2A. FIG. 9 is a graph showing the relation between the stress concentration factor  $K_2$  of the power transmission line 10 shown in FIG.  
15 2A and the maximum sound pressure level difference  $\Delta L$  at different wind speeds. FIG. 10A is an enlarged sectional view of a segment conductor not having an abutting part but having a perfect arc, while FIG. 10B is an enlarged sectional view of segment conductors obtained by further  
20 segmenting the segment conductor in FIG. 10A. FIG. 11A is a sectional view of a power transmission line of one embodiment of the present invention, FIG. 11B is an enlarged sectional view of the segment conductor characterizing the present invention, and FIG. 11C is a  
25 view for explaining the method of selecting an arc of the

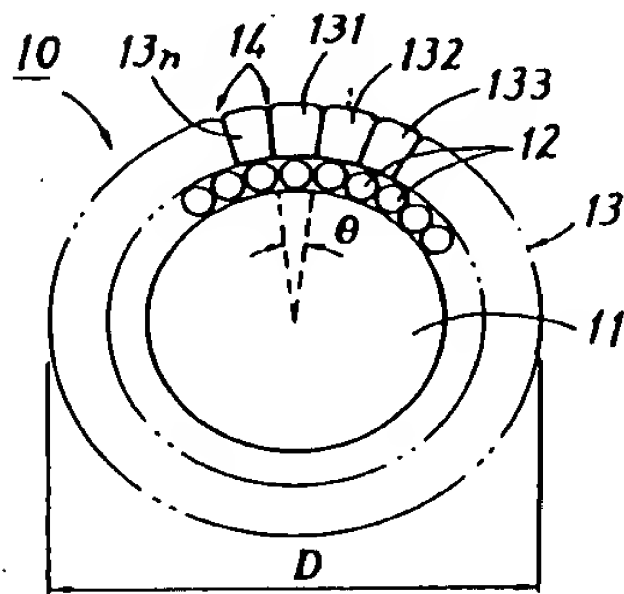
segment conductor of this embodiment. FIG. 12 is a graph showing the wind pressure characteristic of one example of a power transmission line using the technical idea of the present invention. FIG. 13 is a graph showing the  
5 wind noise characteristic of one example of a power transmission line using the technical idea of the present invention.

In the drawings, 10 shows a power transmission line of the background art of the present invention, 20 shows  
10 a power transmission line of one embodiment of the present invention, 21 and 22 show inner layers, 23 shows an outer layer, 231 to 23n show segment conductors characterizing the present invention, 24 shows a groove, r shows a radius of curvature, D shows a diameter, h  
15 shows a height of the segment conductor, and t shows an abutting part.

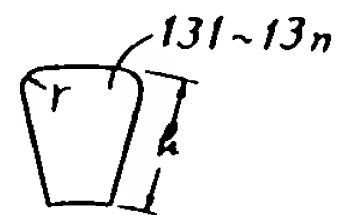
[FIG. 1]



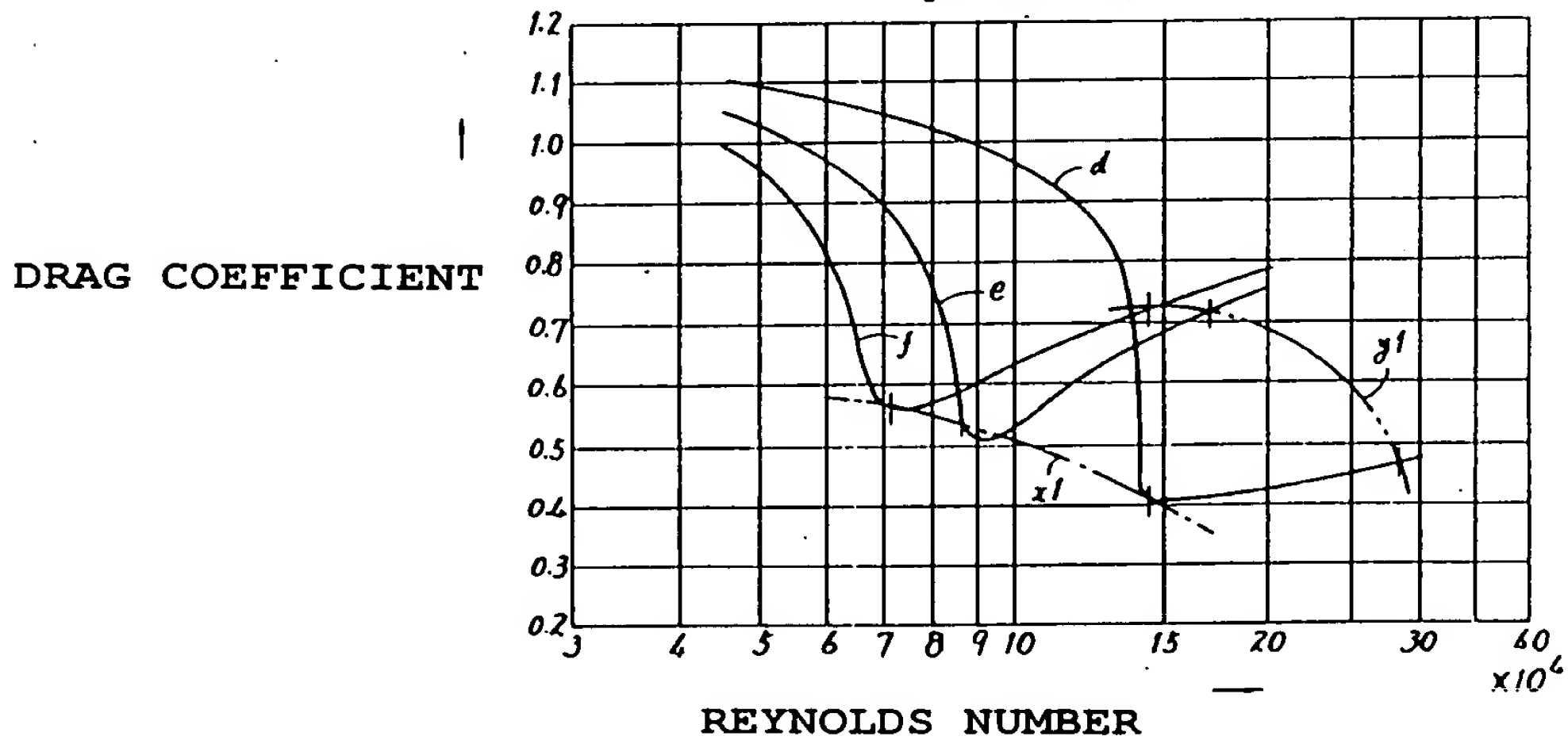
[FIG. 2A]



[FIG. 2B]

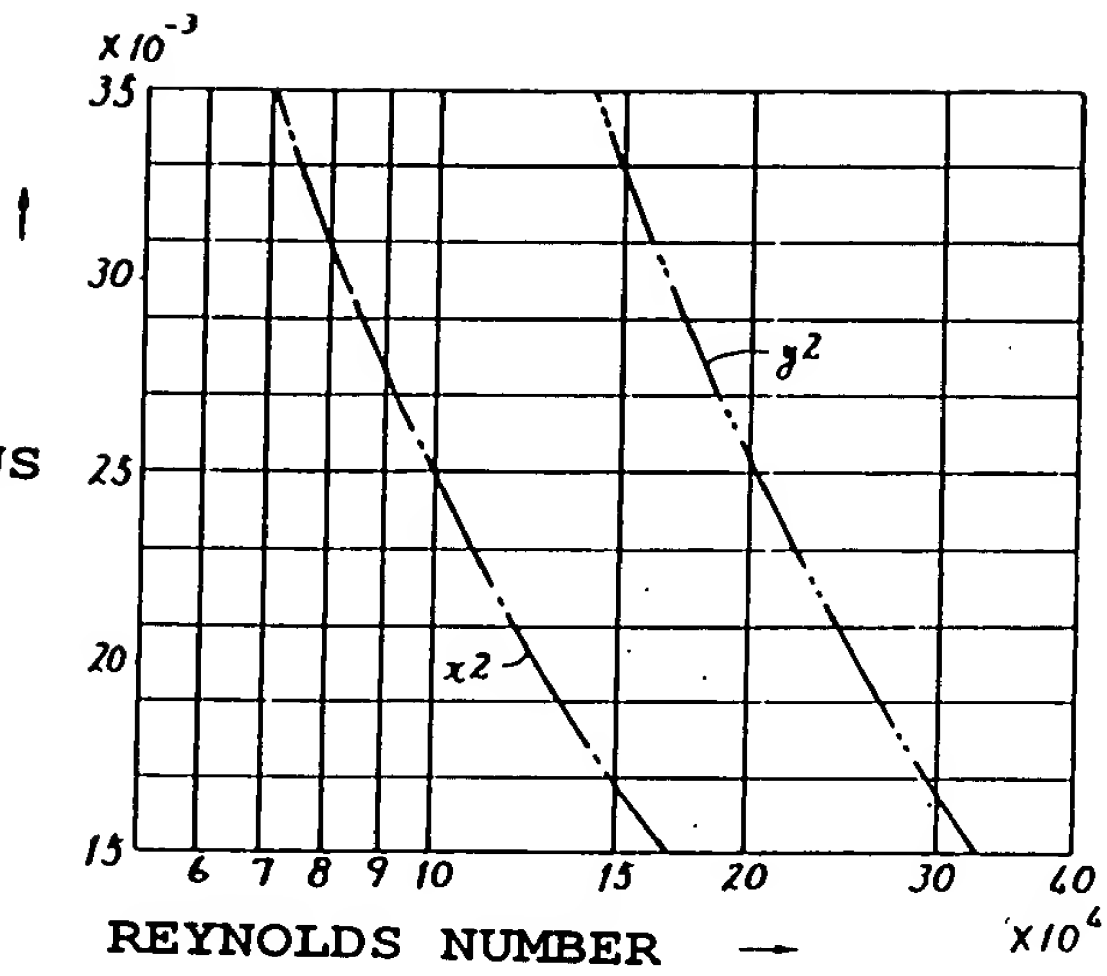


[FIG. 3]



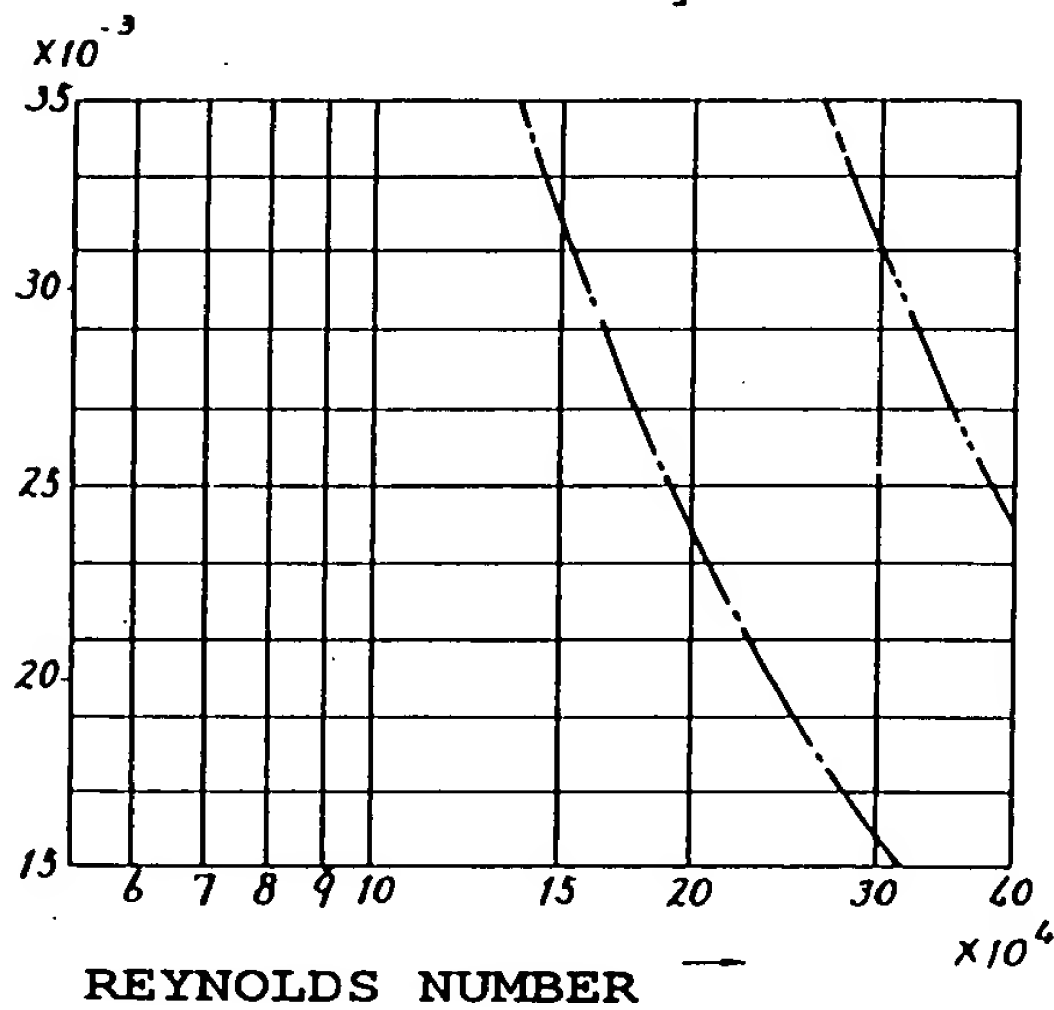
[FIG. 4A]

RATIO OF RADIUS  
OF CURVATURE



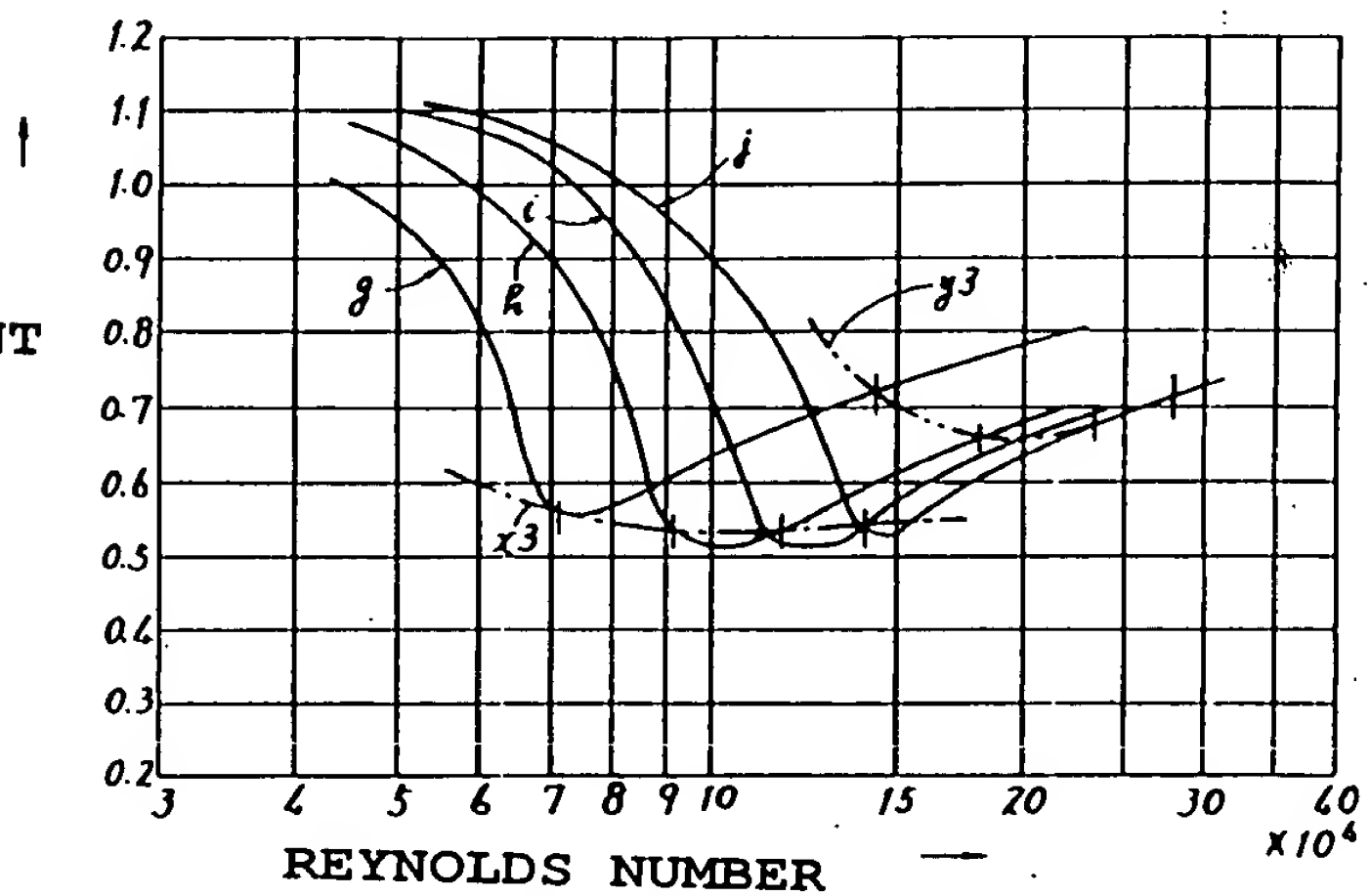
[FIG. 4B]

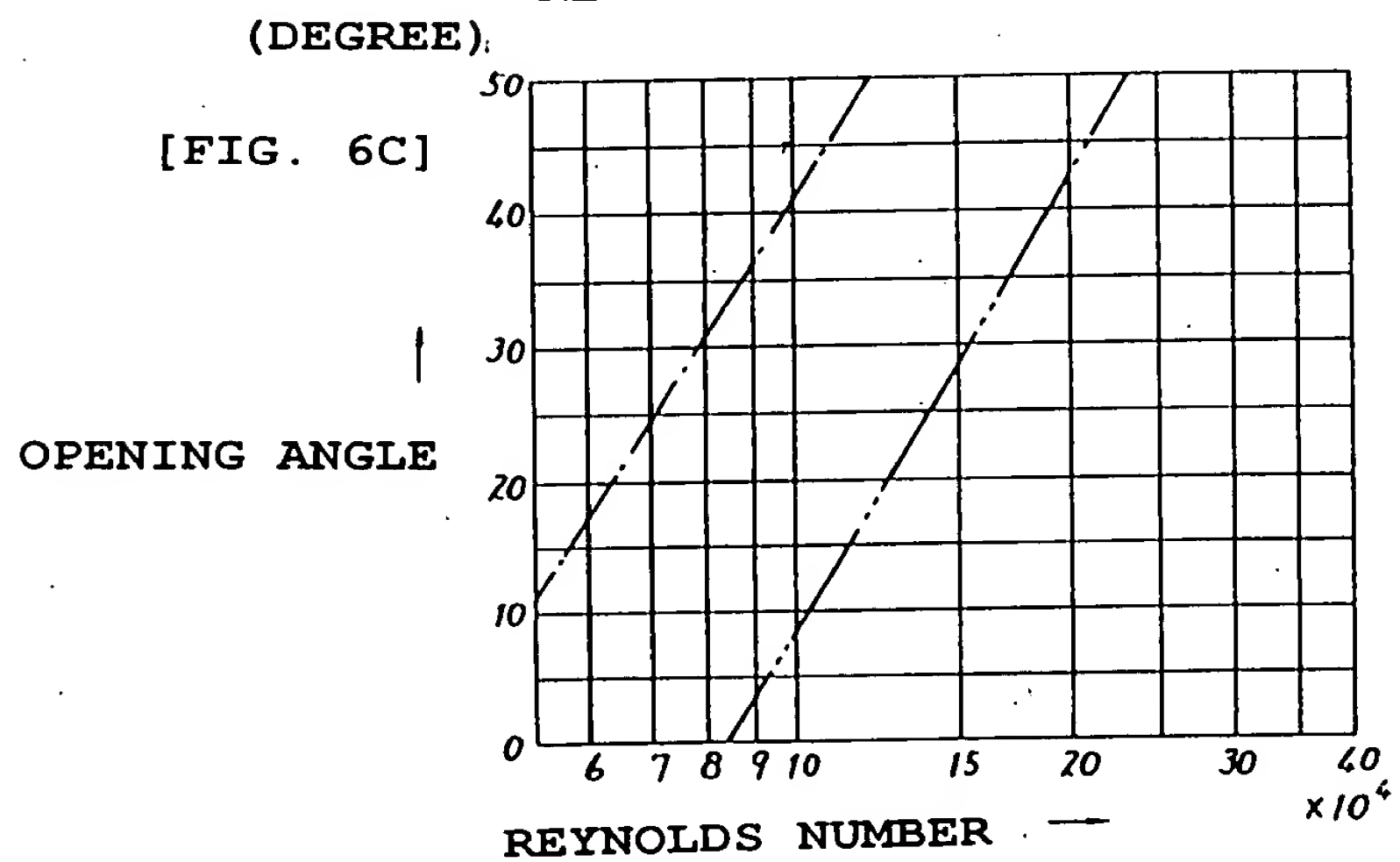
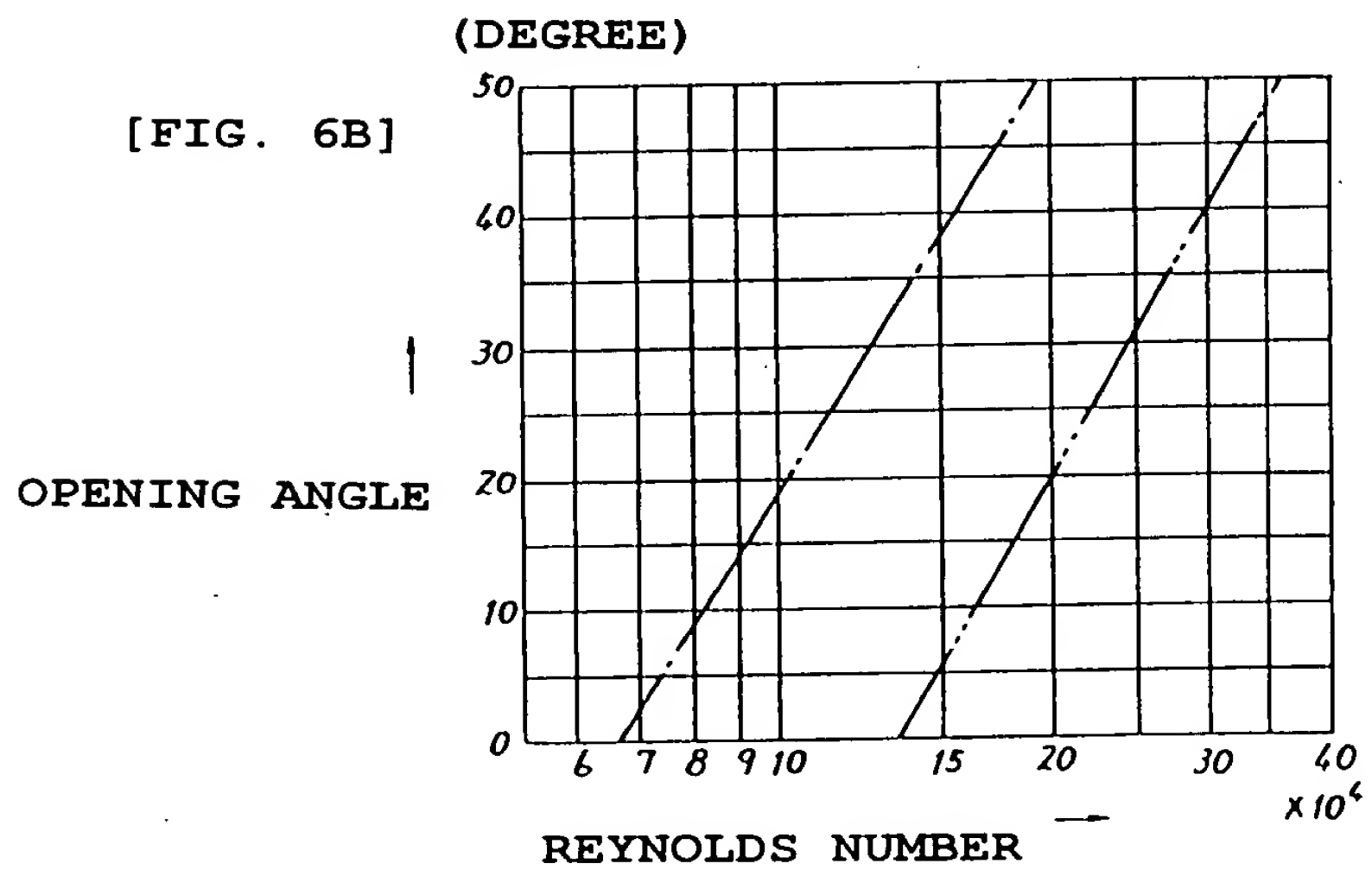
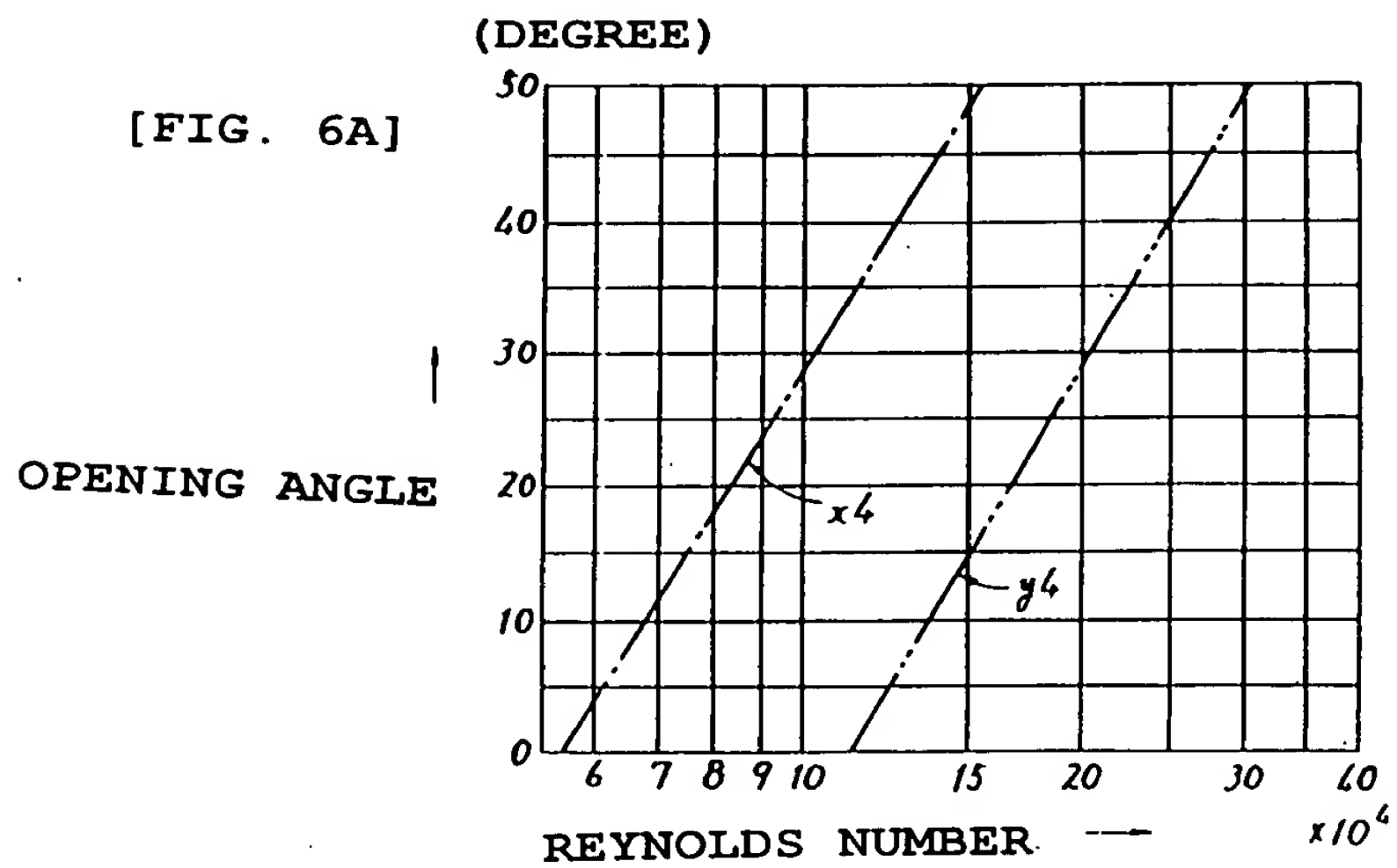
RATIO OF RADIUS  
OF CURVATURE

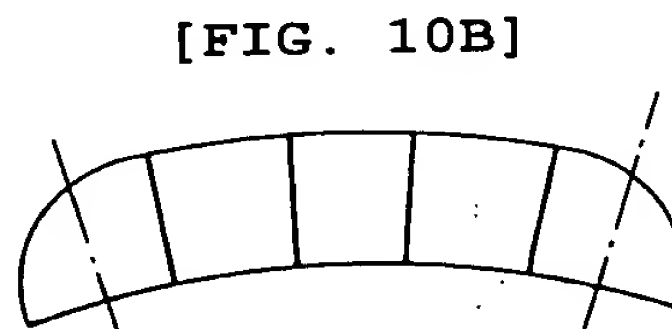
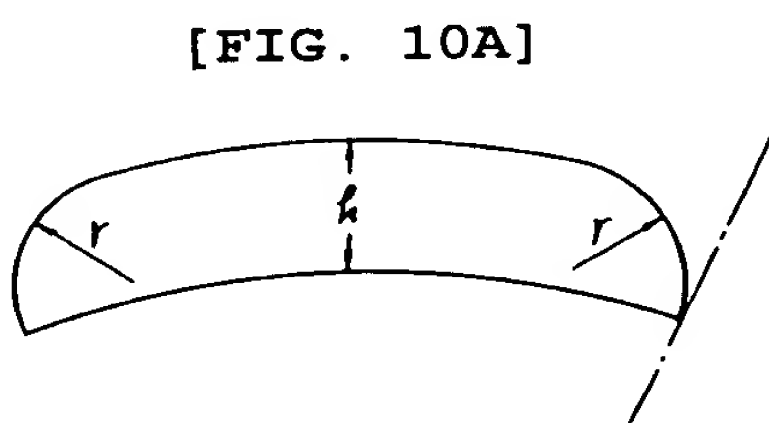
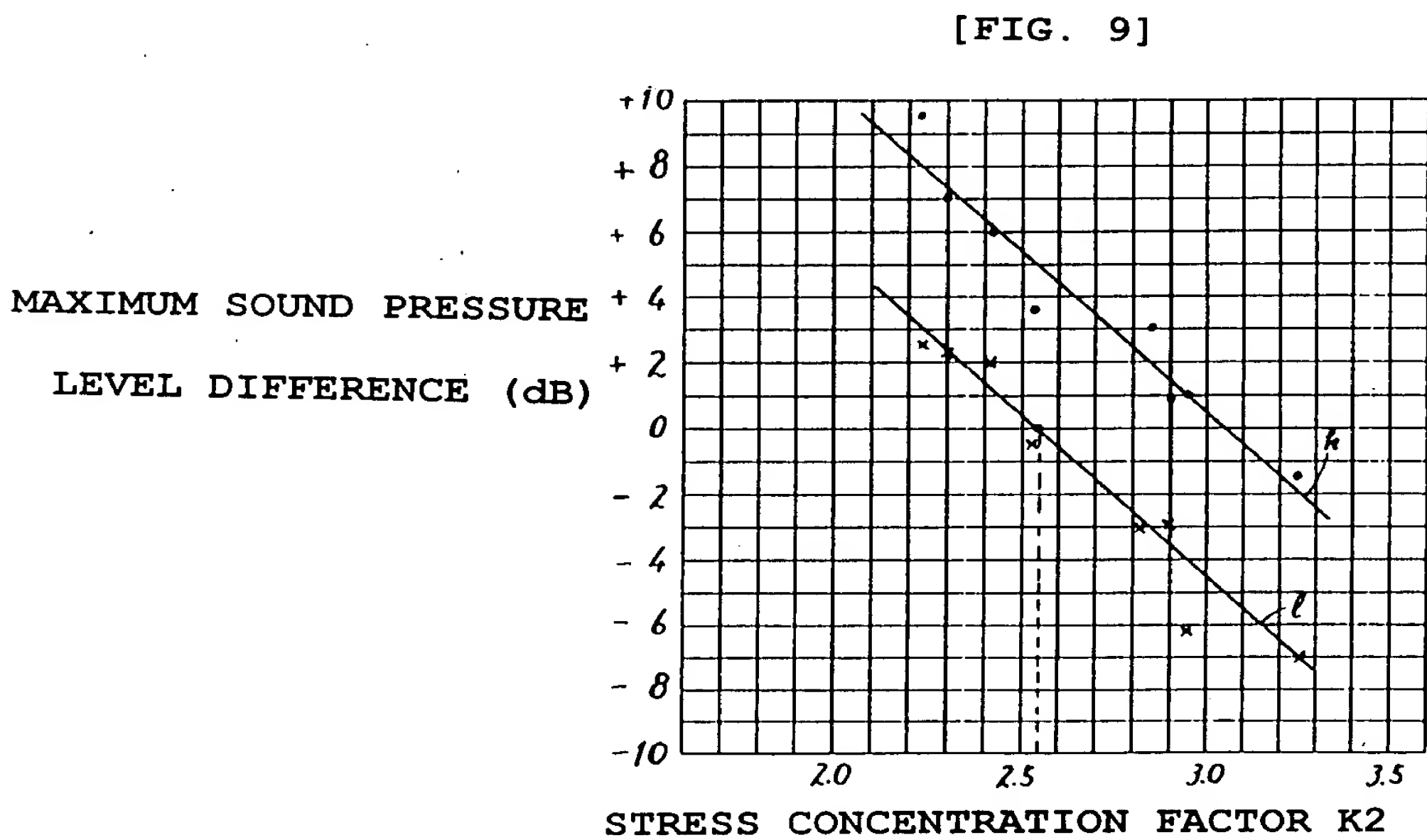
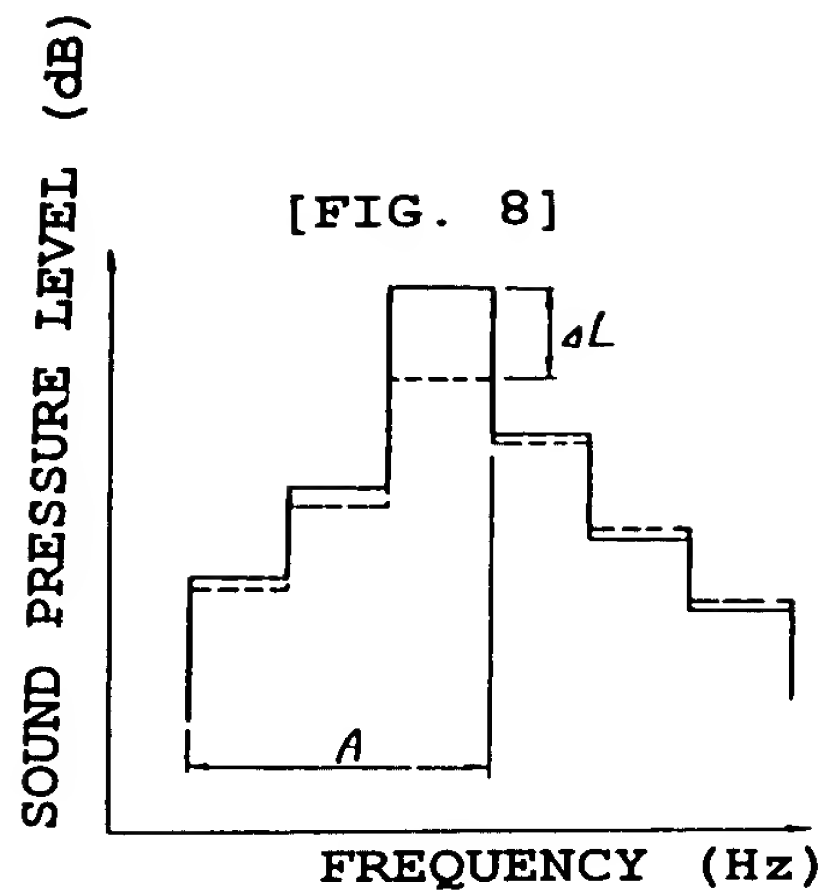
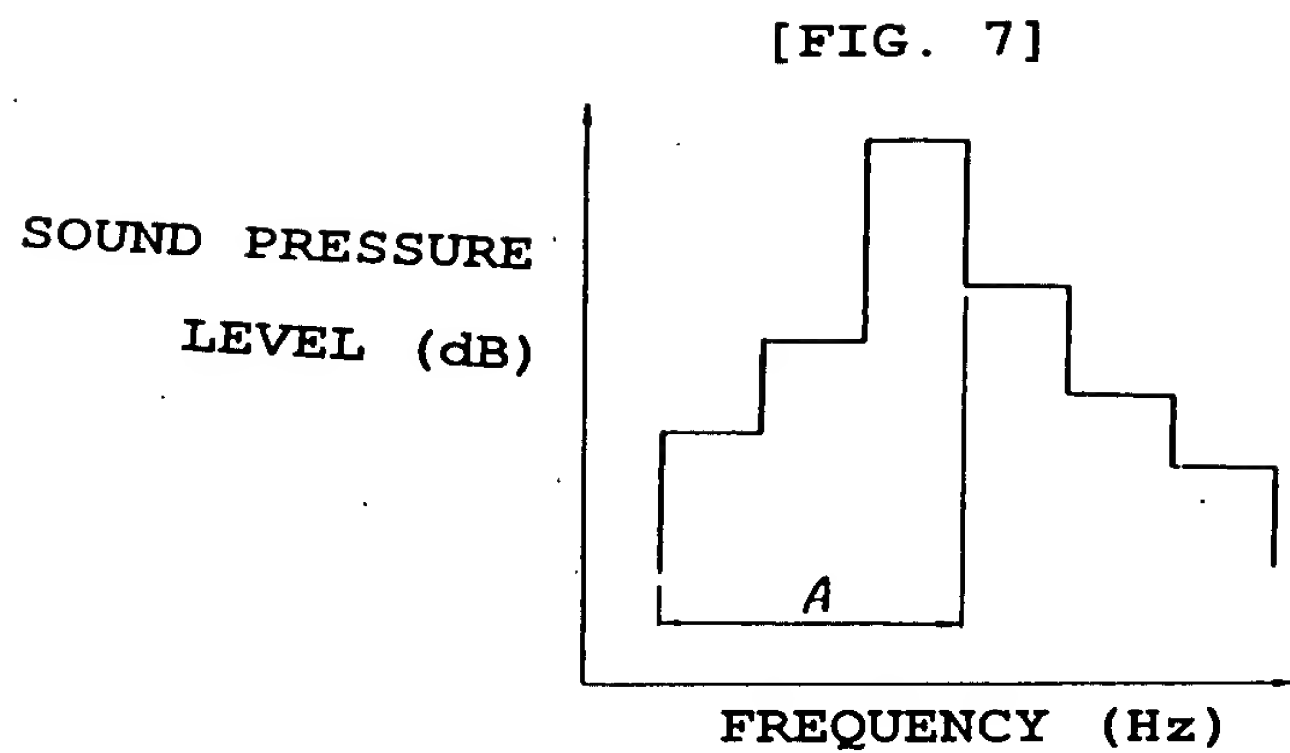


[FIG. 5]

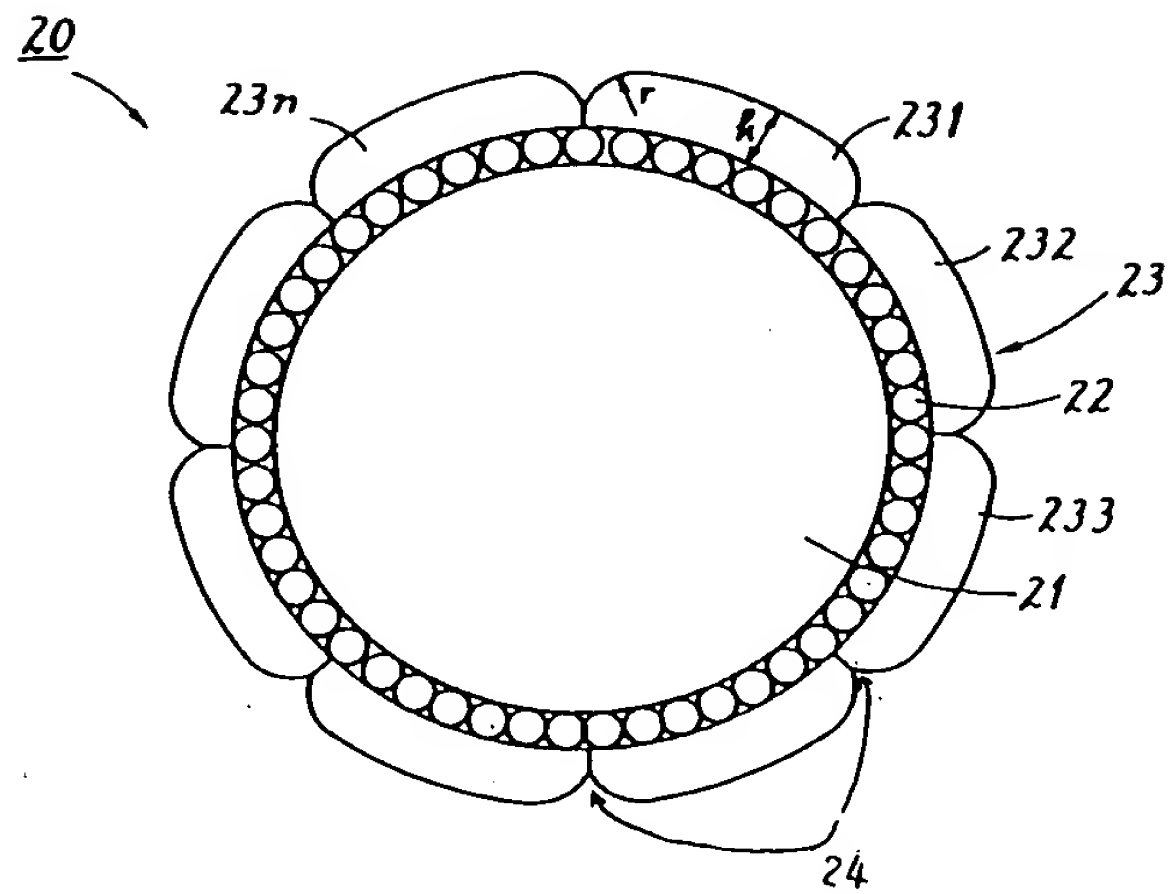
DRAG COEFFICIENT



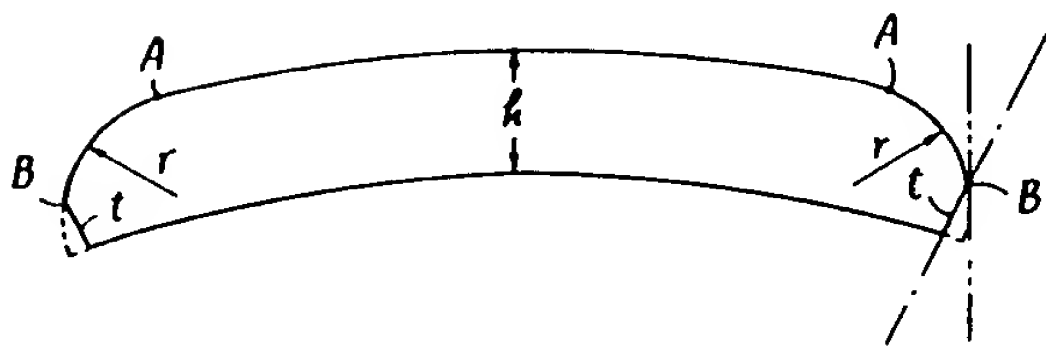




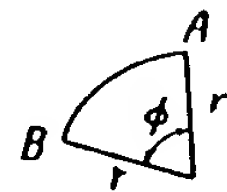
[FIG. 11A]



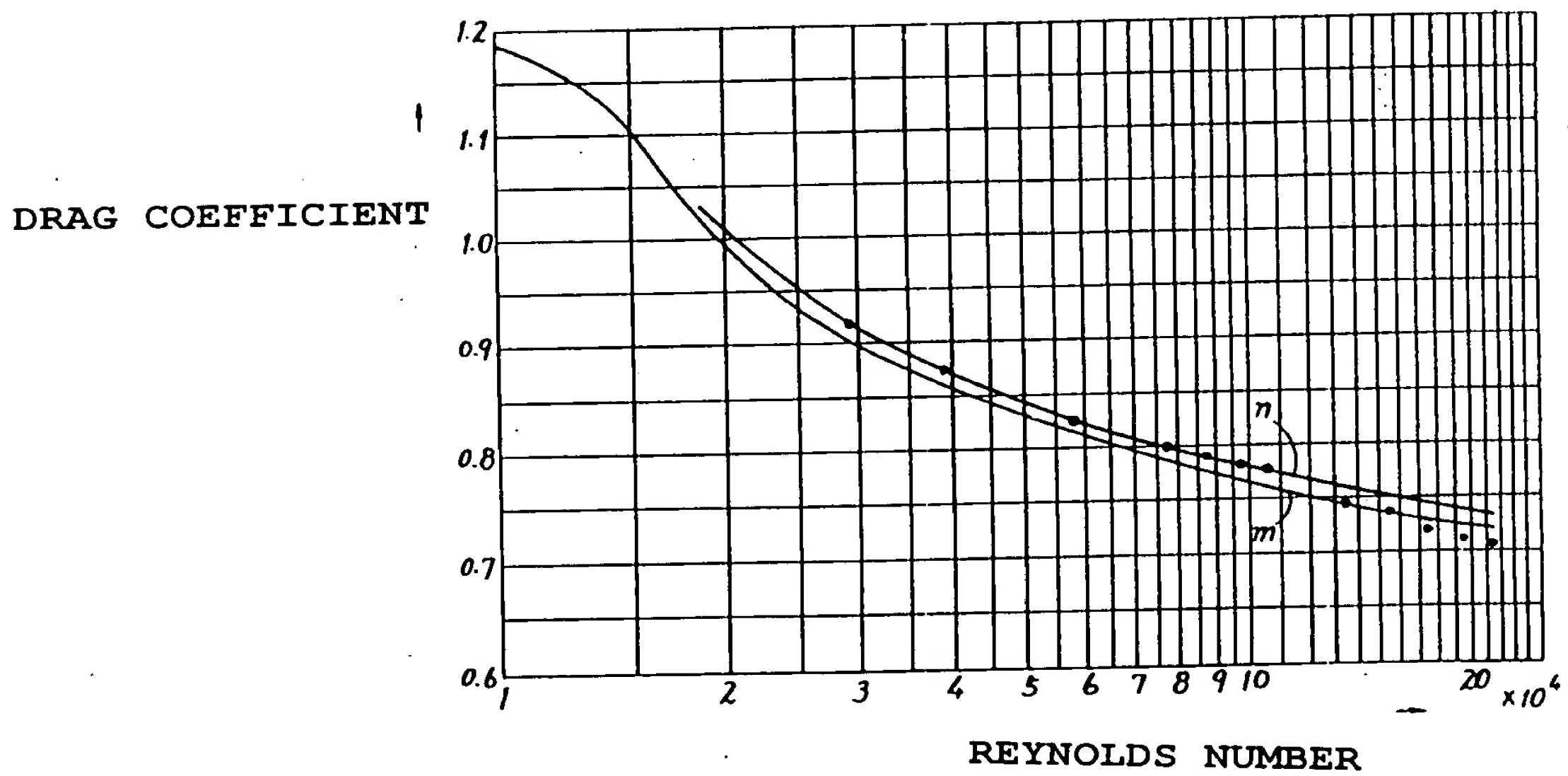
[FIG. 11B]



[FIG. 11C]



[FIG. 12]





[FIG. 13]

MAXIMUM SOUND PRESSURE  
LEVEL DIFFERENCE (dB)

